



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů**

**Rozdělení lepidel používaných
v automobilovém průmyslu**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jindřich Zelinka

2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Rozdělení lepidel používaných v automobilovém průmyslu

The parting of adhesives used in automotive field

Jindřich Zelinka
KSP – TP - B49

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D – TU v Liberci

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	65
Počet tabulek	4
Počet příloh	5
Počet obrázků	20

Datum 23.5.2008

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Jindřich Zelinka

Téma práce: **Rozdělení lepidel používaných v automobilovém průmyslu**

The parting of adhesives used in automotive field

Číslo BP: KSP-TP-B49

Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D – TU v Liberci

Konzultant BP: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – TU v Liberci

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá rozdělením lepidel používaných v automobilovém průmyslu. Teoretická část obsahuje současný vývoj technologií lepení, problematiku lepení výlisků z plechu při stavbě karoserie a teorii lepeného spoje. V rešeršní části se zabývá rozdělením lepidel v minulosti, podle dostupné literatury. Dále je zde uvedeno rozdělení lepidel používaných v současnosti, podle jednotlivých firem. Nakonec bylo navrženo rozdělení podle mechanických vlastností a jednotný technický list.

Abstract:

This bachelor's work is concerned with parting of adhesives, which are used in automotive field. The theoretical part includes present progress in technology of adhesive bonding, problems with adhesive bonding of compacts from metal plates trough construct of carbody and theory of adhesive bonds. The retrieval part includes parting of adhesives in former times, according to available literature. Afterwards there is noted parting of adhesives used in present time, according to individual companies. In the end was proposed parting of adhesives according to mechanical characteristics and uniform technical datasheet.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 23. května 2008

.....
Jindřich Zelinka
Pírkova 151
28002 Kolín 6

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, věcné připomínky, cennou pomoc při shánění technických podkladů a velké množství podnětů při vypracování zvoleného tématu.

Dále bych chtěl velmi poděkovat Ing. Lubomíru Rolečkovi za poskytnuté technické listy lepidel, které byly nutné pro vypracování této práce. A Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. za poskytnutí potřebných informací.

Nakonec bych chtěl poděkovat mým rodičům za poskytnutou podporu při studiu, a to nikoliv jen finanční. Zvláště pak Ing. Libuši Zelinkové za pomoc při korekci této práce.

Jindřich Zelinka

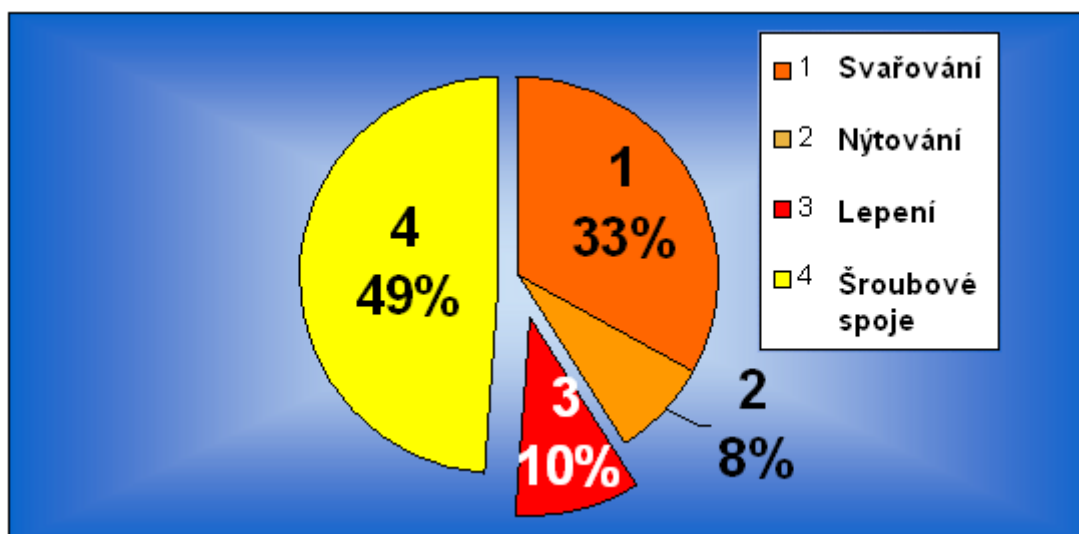
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	7
1. ÚVOD.....	8
2. TECHNOLOGIE LEPENÍ.....	9
2.1. Historie a současnost.....	9
2.1.1. Současný vývoj technologií.....	10
2.2. Problematika lepení výlisků z plechu při stavbě karoserie.....	12
2.2.1. Strukturní lepení.....	16
2.2.2. Srovnání strukturního lepení s ostatními způsoby spojování materiálu ve stavbě karoserie.....	19
2.3. Teorie lepeného spoje.....	21
2.3.1. Síly působící uvnitř lepeného spoje.....	21
2.3.1.1. Teorie adheze.....	21
2.3.1.2. Teorie koheze.....	23
2.3.2. Konstrukce lepeného spoje.....	23
2.4. Rozdělení lepidel v minulosti.....	24
2.4.1. Přehled lepidel podle principu tuhnutí ve spoji.....	24
2.4.2. Rozdělení lepidel podle chemického složení.....	28
2.4.3. Rozdělení lepidel podle konzistence.....	29
2.4.4. Dělení lepidel podle dodací formy.....	29
2.4.5. Rozdělení lepidel podle teploty vytvrzovací reakce.....	30
2.4.6. Přehled chemických reakcí probíhajících při vytvrzování spoje....	30
2.5. Současné rozdělení lepidel.....	31
2.5.1. Rozdělení strukturních lepidel podle firmy Dow automotive.....	31
2.5.2. Lepidla od společnosti Henkel.....	32
2.5.3. Lepidla vyráběná firmou Sika.....	33
2.5.4. Lepidla vyráběná společnostmi 3M.....	33
2.6. Vlastnosti současně používaných lepidel.....	34
2.7. Návrh na rozdělení lepidel.....	37
2.7.1. Vlastnosti jednotlivých skupin lepidel zvoleného rozdělení.....	39
2.7.2. Návrh technického listu.....	40
3. ZÁVĚR.....	44
4. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	46
5. SEZNAM ZKRATEK.....	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

Obr.	obrázek
resp.	respektive
př. n . l.	před naším letopočtem
kap.	kapitola
1-K	jedno komponentní
2-K	dvou komponentní
CNTs	uhlíková nanovlákná
SWCNT	CNTs s jednou grafitickou vrstvou
MWCNT	CNTs s více grafitickými vrstvami
epoxid	epoxidová pryskyřice
PS	polystyren
tzv.	tak zvaně
např.	například
tzn.	to znamená
T_g	teplota skelného přechodu
CFK	uhlíkovými vlákny plněné plasty
Tab.	tabulka
apod.	a podobně
PVC	polyvinylchlorid
CRS	za studena válcovaná ocel
tl.	tloušťka
PUR	polyuretan
Epoxy	epoxidová pryskyřice
PMMA	polymethylmetakrylát
UV	ultrafialové záření
ABS	AkrylonitrilButadyenStyren
č.	číslo
EU	Evropská unie

1. ÚVOD

Vývoj produktů v oblasti technologie lepení je v současné době na velmi vysoké úrovni. Z technologie, která byla vždy jen „doplňková“ k běžným způsobům spojování technických materiálů se postupně stala technologie, bez které si není možné dnešní průmyslovou výrobu a průmysl obecně představit. Podíl technologie lepení v celosvětovém měřítku spojování součástí je více než 10 %, (viz. Obr.1.1.) Existuje celá řada renomovaných výrobců lepidel. Mezi světové výrobce patří např. Henkel, Dow, SIKA, 3M apod. Největším zpracovatelem lepidel v České republice je automobilový průmysl. Množství vyráběných produktů je striktně řízeno poptávkou. S ohledem na různé a často protichůdné požadavky automobilového průmyslu jsou vyvíjeny stále nové produkty. Sečteme-li výrobní portfolio, tří největších evropských výrobců lepidel zjistíme, že v současnosti je na trhu k dispozici více než 50 druhů lepidel používaných k lepení v automobilovém průmyslu /1, 2, 3/. V tomto počtu ovšem nejsou zahrnuty vývojové varianty a šarže jednotlivých produktů, které jsou uvolňovány k testování.



Obr.1.1 Technologie spojování materiálu ve světovém měřítku pro rok 2004. /4/

Abychom se mohli zabývat problematikou technologie lepení, resp. lepidel obecně, musíme se nejdříve seznámit s jejich základním rozdělením. Podle literárních pramenů /5, 6, 7, 8, 9, 10/ je možné lepidla rozdělit podle různých hledisek do několika základních skupin. S ohledem na rychlý vývoj nových typů lepidel se však dostáváme do situace, kdy některé typy lepidel nelze zařadit jednoznačně do žádné skupiny. Svými vlastnostmi a chemickým složením zaujímají

ve výrobním spektru lepidel širokou oblast a nelze je tedy snadno přesně klasifikovat. Pro spotřebitele toto představuje jistá rizika v jejich výběru. Z dostupných informací od výrobců zpracovaných ve formě technických listů k vyráběným produktům je navíc patrné, že dosud není ustanovena jednotnost v tom, jaké základní informace o produktu udávat. V rámci konkurenčních bojů dochází k upřednostnění „dobrých“ vlastností produktu, zatím co ostatní nejsou v technickém listu uvedeny, nebo jsou deklarovány hodnoty zjištěné při jiných podmínkách zkoušek, než při kterých je obvyklé. Pro spotřebitele se tak výběr vhodného typu lepidla stává do značné míry problematický i tím, že nemá zcela korektní možnost srovnání základních vlastností dodaných výrobcem lepidla.

Dostupná literatura zabývající se technologií lepení je téměř dvacet let stará. Za tuto dobu se některá lepidla přestala používat a byla vyvinuta nová a to taková, která se nehodí zásadním způsobem do žádné skupiny popisovaných lepidel. Z výše uvedeného vyplývá potřeba zabývat se klasifikací lepidel, včetně kategorizace jejich základních vlastností a poukázat alespoň na některé nesrovnalosti v jejich třídění, použitelnosti a základních technických parametrech, které jsou udávány výrobcí a spotřebiteli běžně dostupné.

Cílem této bakalářské práce je shrnout dosavadní poznatky o klasifikaci lepidel a doplnit některá místa tohoto rozdělení, tak jak si vyžaduje současný přístup a chápání technologie lepení. Téma celé práce je zaměřeno na oblast lepení kovů, přesně na oblast lepení výlisků z plechů při stavbě karoserie osobních automobilů.

2. TECHNOLOGIE LEPENÍ

2.1. Historie a současnost

Zabývat se dávnou historií „technologie“ lepení by znamenalo mnohonásobně přesáhnout rámec této bakalářské práce. Počátky způsobů lepení sahající až do oblasti 50 tisíc let př. n. l. Historie, vývoj technologie lepení a používaná lepidla, jsou dostatečným způsobem zpracována v dostupných literárních pramenech /5, 6, 7, 8/. Proto zde uvedeme jen zásadní mezníky v historické etapě vývoje technologie spojování materiálů.

První látky, které byly použity pro lepení byly získány úpravou kůry a pryskyřice. Poté to byly živočišné klihy a škroby. Výroba těchto lepidel začala jako první průmyslově. Opravdovým a zásadním mezníkem se stal objev plastických

hmot. Tento objev poté vedl k rozšíření počtu druhů lepidel včetně epoxidové pryskyřice. Která se stala nejvýznamnějším lepidlem pro automobilový průmysl.

- kůra, pryskyřice
- klíč, škrob apod.
- plasty
- epoxidová pryskyřice

Od tohoto okamžiku se v podstatě vývoj lepidel ubíral dnešním směrem. Většina průmyslových lepidel je založena na bázi epoxidových pryskyřic(viz kap. 2.6.)

Podstatný rozdíl v technologii lepení kovů a lepení obecně zaznamenala úprava povrchu před lepením. Dříve bylo nutné před vlastním lepením upravit povrch lepeného materiálu. Lepený povrch musel mít pro dosažení optimálních pevnostních vlastností spoje určitou drsnost povrchu, čistotu, musel být celistvý a bez jakýchkoliv mechanických, nebo chemických nečistot. Povrch musel být odmaštěn. Tento fakt v oblasti lepení výlisků z plechů při stavbě karoserie již neplatí. Dnes jsou vyvinuta lepidla pro lepení součástí přímo z výroby, která nesou stopy oleje a maziv. Vývoj lepidel pro lepení kovů však neustále pokračuje. Lepidla dosahují lepších pevnostních hodnot, jsou odolnější a v neposlední řadě splňují náročné ekologické požadavky. Výše uvedené způsobuje, že lepení postupně nahrazuje či doplňuje ostatní technologie na spojování materiálů.

Technologie lepení se už dlouho uplatňují ve strojírenství, hlavně ve výrobě automobilů. Díky tomu, že na mnoha místech montovaných spojů nahradilo svařování, nýtování a šroubování právě lepení, se hmotnost vyráběných automobilů snížila o desítky procent. Odhaduje se, že v komplexu veškerých spojovacích technologií dnes ,co do objemu produkce, připadá ve světě na lepení nejméně 10%. Z automobilek, které s takovými aplikacemi ve velkém začaly u osobních vozů, se už spojování lepením v posledních letech rozšířilo i do výroby nákladních a vůbec užitkových vozidel, stavby lodí a letadel. Dalšími významnými odběrateli jsou elektronika a stavebnictví. Díky tomu se výroba lepicích materiálů pro průmyslové účely ve světě zvyšuje každoročně o 3%.

2.1.1. Současný vývoj technologií

Současný vývoj lepidel je soustředěn především do několika oblastí. Tyto oblasti jsou obzvláště nanolepení a 2-K lepení.

Nanolepení /11/

Tato technologie je v podstatě lepení, při kterém je základní matrice lepidla plněna nanovlákný. Stejně jako u plnění plastů, zde vlákna slouží jako zpevňovací činidlo. Nejčastěji se u lepidel nanovlákná používají pro vyztužení epoxidové pryskyřice. Oproti běžné neplněné pryskyřici dosahují výrazně lepších mechanických vlastností. Hlavním typem nanoplavidel užívaným pro úpravu systému polymeru jsou CNTs(uhlíková nanovlákná). Uvedení CNTs, jako strukturního elementu v nanokompozitech, by mělo zlepšit materiálové vlastnosti, rozmanitost materiálů a díky tomu i rozšířit různorodost aplikací. Uhlíková vlákna, která se nyní používají, jsou buď s jednou grafitickou vrstvou SWCNT nebo mnoha grafitickými vrstvami sbalenými přes sebe MWCNT. Za nepřítomnosti syntetického pouta mezi CNT a matricí se ukázalo, že nelepivé interakce sestávající se z elektrostatických a Van der Waalových sil, měly za následek, že mezíplošné smykové napětí CNT-polymeru vzrostlo na asi 138 a 186 Mpa, pro CNT-epoxid a CNT-PS. Vysoká mezíplošná smyková pevnost je přisuzována těsnému kontaktu mezi dvěma pevnými fázemi v molekulové struktuře. Výsledky posledních testů jsou zjištění, že optimální množství MWCNT vláken užívaných jako výztuha je 1% dle váhy. Dále se ukázalo, že použití MWCNT významně zvýšilo hodnotu meze pevnosti oproti neplněné pryskyřici, přibližně o 29%. Přidání MWCNT ještě zvýšilo zbytkovou houževnatost a rázovou houževnatost o 56% a 265% v tomto pořadí. Zkoumání vlastností zlomové plochy tohoto lepidla odhalilo, že náhodně orientovaná MVCNT vlákna zvýší soudržnost matrice stejně jako hodnotu mezíplošných interakcí.

2-K lepení /12/

Jestliže proniknutí technologie lepení do výroby a montáže automobilů lze označit za první etapu aplikace této spojovací technologie do tohoto oboru strojírenské výroby, pak dnes už je možno hovořit o nástupu druhé etapy. Pro tu je příznačný nástup lepení tzv. dvousložkovými lepidly, čili „2-K lepení“ (dvoukomponentní).

Hlavním argumentem pro nahrazení jednosložkového lepení modernějším 2-K lepením je fakt, že při něm odpadají operace nutné pro vytvrzování slepovaných spojů, jelikož lepidlo vytvrdne po smíchání obou složek. Tím dochází i ke zkrácení zpracovací doby a ke snížení výrobních nákladů. Další předností je to, že k lepení

není zapotřebí zahřívat spojované části a lepidlo na poměrně vysokou teplotu, čímž se ušetří čas a energie, a tedy de facto opět finance.

Na druhé straně je pravda, že zařízení pro 2-K lepení je dražší než jednodušší zařízení pro jednosložkové lepení, avšak investice se díky vyšší produktivitě novinky poměrně rychle vrátí. Výhodou je taky nižší rozsah emisí zdraví škodlivých látek, které se při lepení uvolňují do vzduchu. Při sestavování karoserií jde hlavně o to, aby v rámci výrobního času bylo dosaženo takových parametrů slepovaných dílů, se kterými lze už po velmi krátkém intervalu dále pracovat, jinak řečeno smontovávat s dalšími díly.

Ve finální montáži se samozřejmě také, při mnoha operacích, 2-K lepení uplatní, např. při fixaci lůžka(vany) pro uložení rezervního kola, kde spoje musejí být velmi rychle vytvrzeny.

2.2. Problematika lepení výlisků z plechu při stavbě karoserie /13/

Za jednu z nejrychleji se rozvíjejících oblastí využití techniky lepení, jak už bylo výše řečeno, je možno nyní považovat zpracování plechu. Ekonomicky významná je stavba automobilů tedy i stavba karoserií. Bezpečnostní součásti ocelové karoserie, jako např. podélníky a příčníky nebo skupina pojezdového ústrojí, se v minulosti spojovaly téměř výhradně svařováním.

Protože spotřeba pohonných hmot je z velké části v závislosti na hmotnosti vozu, získal na významu požadavek na lehkou konstrukci. Zároveň musí být zahrnuty stoupající nároky na bezpečnost vozů, pohodlí jízdy nebo životnost a hospodárný způsob výroby. Díky tomu vznikla tedy snaha nasadit techniku lepení také pro vysoce náročné montážní díly kostry karoserie. Ve srovnání se současně používaným svařováním (odporové bodové svařování) se dosáhne technikou lepení těchto výhod:

- Nižší hmotnost způsobená snížením tloušťky plechů v důsledku využití celoplošných spojů, např. v porovnání s bodovým svařováním.
- Zvýšení tuhosti montážních dílů v porovnání s bodovým svařováním na podkladě uzavřených spojovacích švů.
- Umožnění nového montážního postupu: zahrnutí vnějšího pláště do nosné kostry, tzn. uzavření otevřených vyztužujících profilů vnějším pláštěm; spáry a místa, která nejsou vůbec nebo jen obtížně přístupná pro bodové svařování.
- Ochrana proti korozi a tlumení kmitání spojovací vrstvou.
- Žádné poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů.

Požadavky na vlastnosti lepidel a lepených spojů

Požadavky stanovené na lepidla používaná v automobilovém průmyslu vycházejí jednak z nynější konstrukce a jednak z požadovaných vlastností montážních dílů. Základním předpokladem je schopnost zahrnout postup lepení do stávajícího průběhu zpracování.

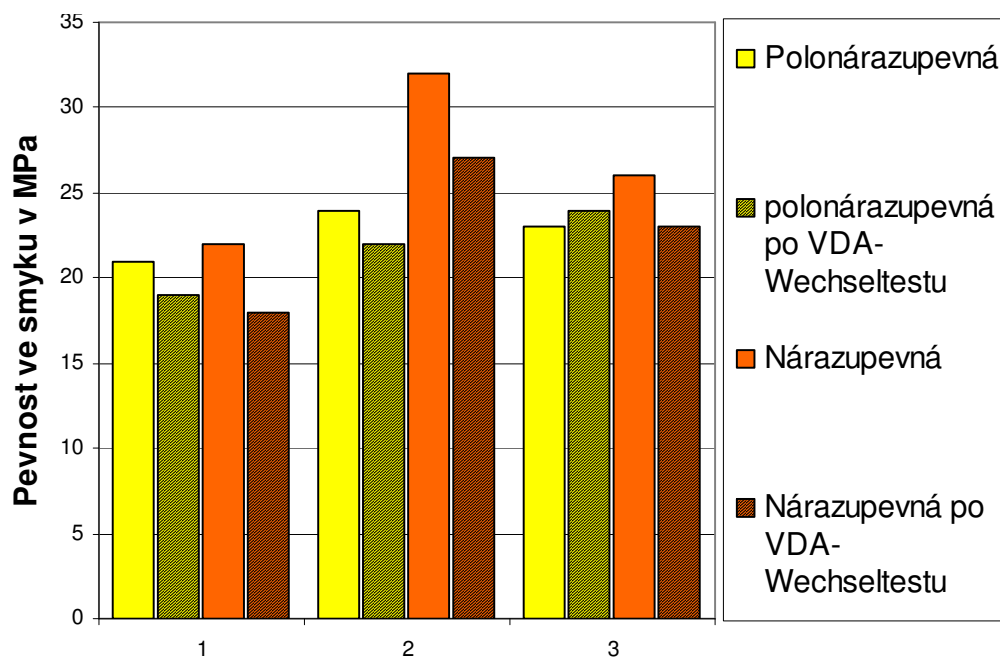
Nejdůležitější výrobní požadavky kladené na lepidla:

- **Podmínky zdraví** – Výrobci lepidel musí respektovat předpis o nebezpečných látkách.
- **Automatické zpracování v krátkých časových taktech**
- **Přilnavost k naolejovanému povrchu** – Olejové vrstvy na povrchu plechu se nelze z důvodů dočasné ochrany proti korozi před a během zpracování zříci. Naolejování je v průměru asi 2 až 5 g/m² a může být místně i podstatně vyšší.
- **Přilnavost k různým povrchovým úpravám plechů** - Vedle nepokryvaných hlubokotažných a vysocepevných ocelí se ve velké míře používají plechy se zušlechťeným povrchem, zejména žárově pozinkované a pozinkované elektrolyticky. To především z důvodu efektivnější ochrany proti korozi. Plechy žárově pozinkované nacházejí uplatnění především na neviditelných místech karoserie, elektrolyticky pozinkované plechy se používají na vnějších místech karoserie.
- **Celistvost** – aby lepený spoj zajistil maximální protikorozi ochranu lepených součástí, musí být nanesená vrstva lepidla celistvá po celé délce spoje.

Pevnost lepeného spoje /5/

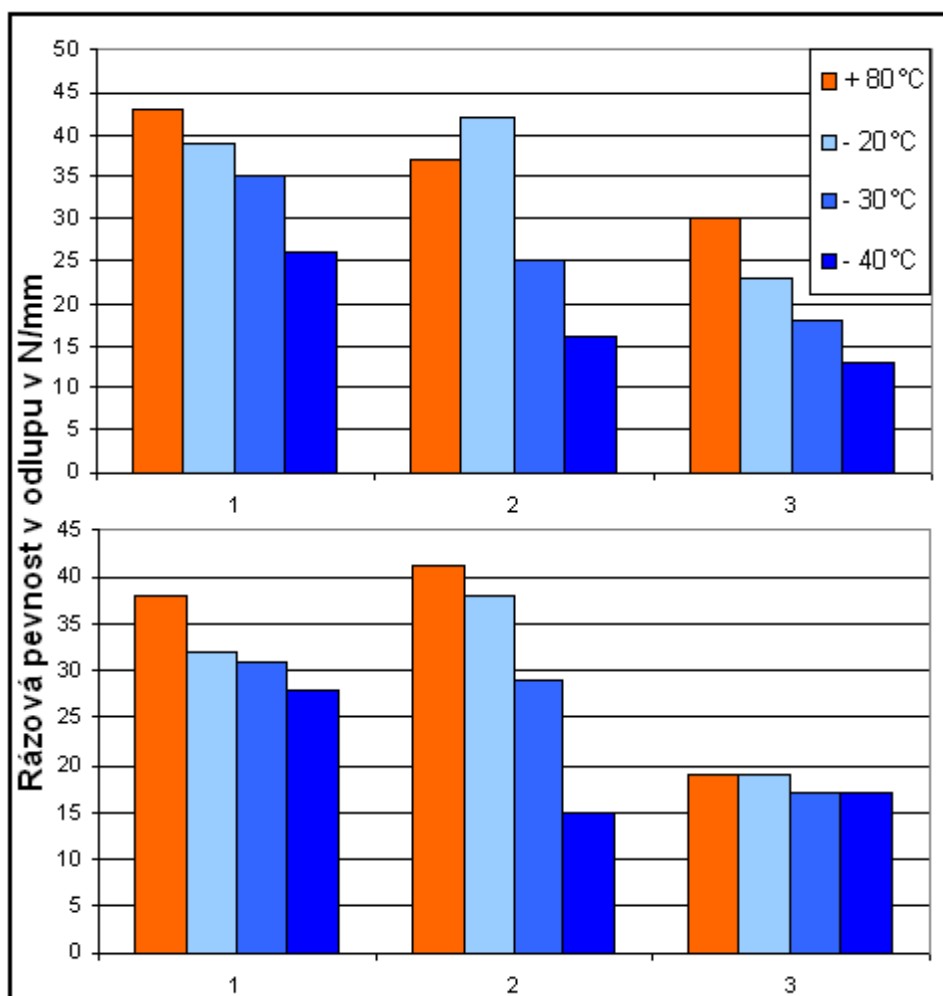
Jeden z prvních ukazatelů pevnosti lepeného spoje je tahová zkouška ve smyku, výsledky se silně odvíjí od zkušebních podmínek, dále také od druhu materiálu a tloušťky substrátu, velikosti slepené plochy, zkušební rychlosti, a teploty. Pro posouzení způsobilosti použití lepidla v automobilu je výsledek zkoušek při urychleném stárnutí a extrémních podmínkách často důležitější než absolutní hodnota pevnosti. Podmínky zrychleného stárnutí zahrnují vyšší a nižší teploty než jsou teploty aplikační. Dále třeba vyšší vlhkost vzduchu, dochází tam ke kondenzaci vody a působení slané mlhy. Nárazupevná(nebo také crashová) a polonárazupevná(nebo také semicrashová) strukturní lepidla vykazují velmi vysoké hodnoty statické tahové pevnosti ve smyku. Hodnoty této pevnosti u dobře provedeného spoje zpravidla leží nad hodnotami meze kluzu v tahu okolních součástí. Vazebné

spektrum je široké a zahrnuje mezi jinými ocelové plechy pozinkované žárově a elektrolyticky. Obr.2.2.1 zobrazuje tahovou pevnost ve smyku nárazupevných a polonárazupevných strukturních lepidel při lepení žárově pozinkované oceli, elektrolyticky pozinkované oceli a předupravené hliníkové plechy a jak se měnily výsledky před a po VDA wechseltestu(test pro urychlené stárnutí).



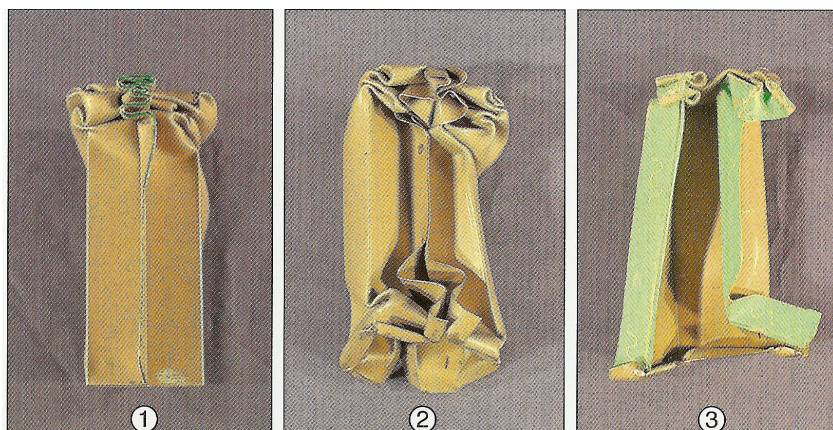
Obr.2.2.1 Hodnoty tahové pevnosti ve smyku před a po VDA-wechseltestu.
1 – DC 04 – B + ZE , 2 – H 340 LAD + Z , 3 – AA 6016, Alodine 2040. /5/

Je zřejmé, že jsou mezi vzorky jen malé rozdíly. Rázová dynamická zkouška pomůže určit dynamickou pevnost při odlupu nebo rázovou pevnost ve smyku v závislosti na teplotě, při typické testovací rychlosti mezi 2-5 m/s. U teplot výrazně pod 0°C jsou jak známo kovy i jejich lepený spoj málo houževnaté, zpravidla až křehké. Z toho vyplývají velmi malé hodnoty pro rázovou pevnost v odlupování. Ale s moderními strukturními lepidly se daří tento pokles houževnatosti minimalizovat. U vyšších teplot vykazuje takový spoj obecně dobrou hodnotu pevnosti, protože tu změknutí strukturního lepidla blízko bodu skelného přechodu způsobí dodatečnou houževnatost.



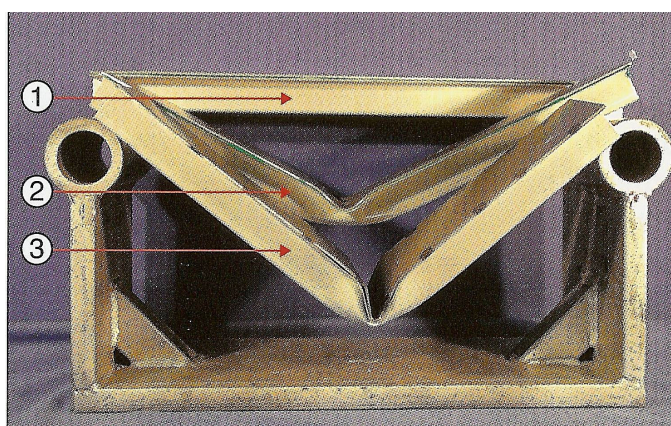
Obr.2.2.2 Rázová pevnost v odlupu v závislosti na teplotě. 1- Nárazupevné, nízkoviskózní, lepidlo nové generace, 2- Nárazupevné, vysoceviskózní, předešlá generace, 3- Polonárazupevné, vysoceviskózní, nová generace. Na horním grafu jsou výsledky lepeného spoje pozinkované oceli a dole jsou výsledky, kterých dosáhl spoj plechů z hliníkové slitiny. /5/

Obr.2.2.2 ukazuje rázovou pevnost v odlupování lepidel nárazupevných nové generace, nárazupevných starší generace a polonárazupevných strukturních lepidel v závislosti na teplotě. Znatelný je malý úbytek pevnosti ve srovnání s předešlou generací, díky zlepšené vnitřní struktuře lepidel. O tom svědčí deformace spojovaných profilů na Obr. 2.2.3 Profily jsou namáhány nárazovou zkouškou kolmo na profil. Dva tvarové profily byly buď bodově svařené, slepené standardním lepidlem, nebo slepené nárazupevným lepidlem.



Obr.2.2.3 Nárazová zkouška kolmo na profil. 1- Nárazupevné lepidlo, 2- Bodově svařovaný spoj, 3- Standardní strukturní lepidlo /5/

Obr.2.2.4 simuluje boční deformační profil dveří u automobilu po nárazovém zatížení. Bodově svařovaný profil se deformuje při stejném zatížení znatelně více než profil lepený.



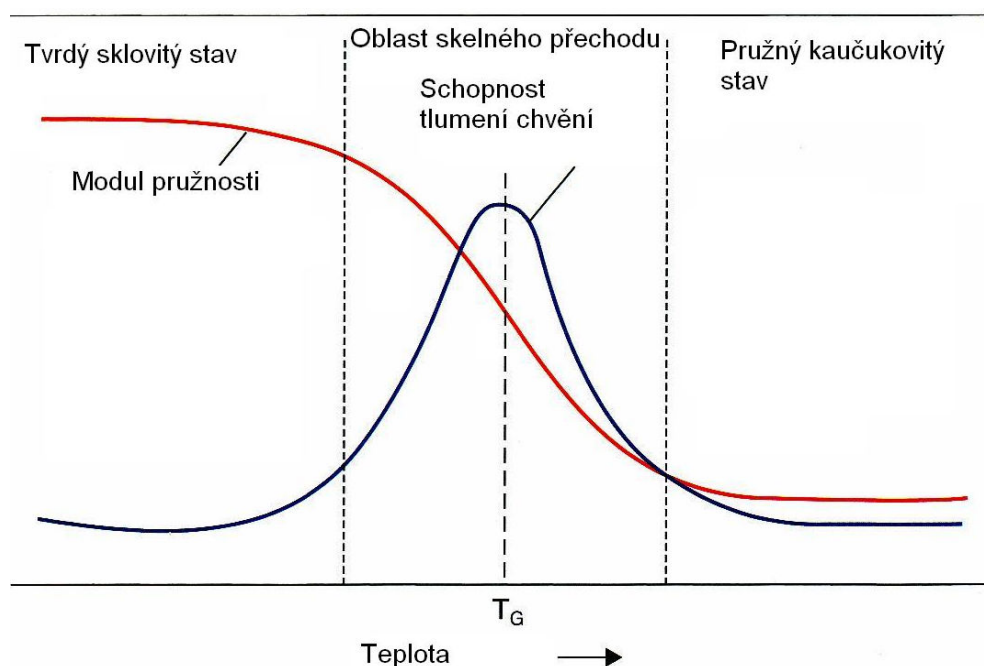
Obr.2.2.4 Nárazová zkouška z boku. 1- Před nárazem, 2- nárazupevné lepidlo, 3- bodově svařovaný profil /5/

2.2.1. Strukturní lepení /5/

Strukturní lepidla musí mít určité vlastnosti - v první řadě jsou to modul pružnosti a pevnost, ale také musí splňovat jiné nároky. Kvůli potřebě lepení plechů od oleje, předpokládáme že lepidlo bude mít dobrou přilnavost k mastným povrchům. Vytvrzovací reakce musí být iniciována přívodem tepla. Vytvrzení lepidla za pokojové teploty by bylo sice taky použitelné, ale zvýšená teplota samotné vytvrzování urychluje a k tomu dochází při teplotě vypalování laku. Kvůli výrobním tolerancím při stavbě karoserie je důležitá odolnost proti kolísání rozměrů se změnou teploty.

Zvláštní roli hraje teplota zesklenní T_g také označovaná jako teplota skelného přechodu vytvrzeného lepidla.

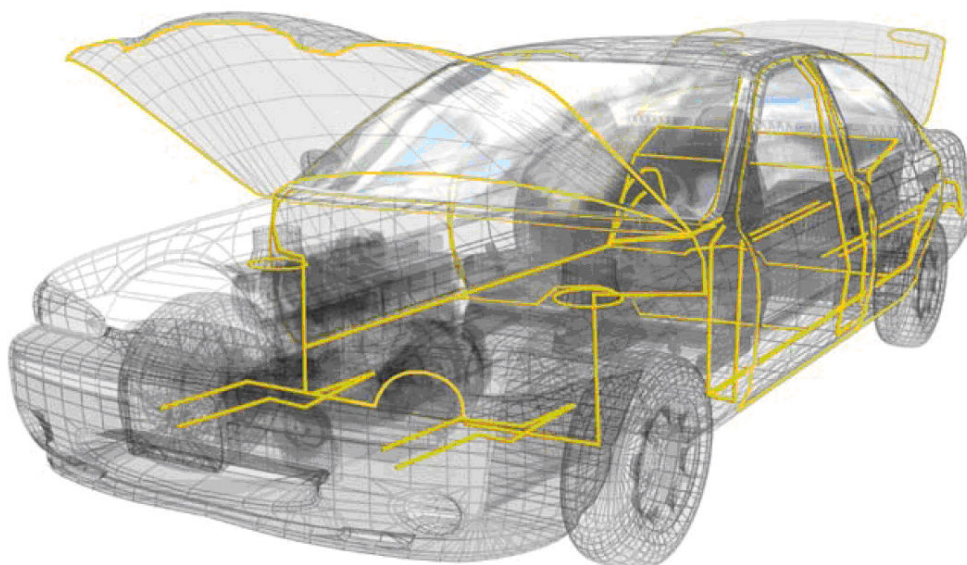
Fyzikální vlastnosti polymerů se v určitém teplotním rozsahu skokově mění. Pod teplotou skelného přechodu je polymer tvrdý a má vyšší modul pružnosti, Brownův tepelný pohyb zamrzne, tzn. zesklenní. Při přechodu přes teplotu skelného přechodu klesá modul pružnosti v některých případech až o několik řádů, dostane se totiž do pružného kaučukovitého stavu, což nám ukazuje Obr.2.2.5. Nad teplotou zesklenní je spoj pružný a mechanické vlastnosti se mění nepatrně v závislosti s měnící se teplotou.



Obr.2.2.5 Závislost Modulu pružnosti na teplotě /5/

Pokud chceme pružný spoj, leží teplota zesklenní pod nulou, až kolem teploty -50°C . U spojů, u kterých klademe důraz na pevnost, leží teplota skelného přechodu lepidla velmi vysoko například kolem 100°C . Potom zůstane vysoký modul pružnosti a mechanické hodnoty se pod touto teplotou téměř nemění. V teplotní oblasti skelného přechodu má lepidlo maximální schopnost tlumení kmitů. U lepených spojů, sloužících k tlumení vibrací v automobilu, by se měla přechodová teplota pohybovat kolem teploty okolního prostředí. Náročnější chemické formulování strukturního lepidla musí vést k tomu, že teplota skelného přechodu bude co možná největší a díky tomu bude modul pružnosti také vysoký. Na druhé straně potřebujeme lepidlo, které nebude křehké. Hlavně při velké deformační rychlosti. Toto musí být pro nárazupevná lepidla zajištěno také při nízkých teplotách

pod bodem mrazu. Tento požadavek klade značnou důležitost na vhodnou volbu třídy polymeru.



Obr.2.2.6 Potenciální linie strukturního lepení v automobilu

Specifickost nárazupevného lepení /5/

Nárazupevné lepení zaručuje při stavbě karoserie po dlouhou dobu stabilní, nepohyblivý a síly přenášející spoj, který je vysoce pevný a zvyšuje výrazně tuhost spojované součásti. Tato technologie je použitelná i v oblastech vozidla, které jsou přímo ohroženy nárazem při nehodě. Doba stabilního spojení je zaručena po celou dobu životnosti vozidla, a vydrží více než 10^5 hodin životnosti a minimálně 10^3 hodin jízdy. Pevný lepený spoj dosahuje modulu pružnosti v řádech od 10^3 MPa, až k hodnotám modulu pružnosti kolem 10^4 MPa. Tyto mechanické hodnoty nárazupevných lepidel odsouvají ostatní typy lepidel do pozadí. Hlavními definovanými cíly strukturního lepení jsou zvýšení tuhosti karoserie, zlepšení stability při nárazu, zvýšení schopnosti absorpce energie lepené konstrukční součásti, jakož i získání mnohem vyšší pevnosti při provozním namáhání.

Lehká konstrukce vozidla je závislá na co možná nejmenší tloušťce plechů v rámu i v karoserii (malá tloušťka materiálu = malá hmotnost). Kvůli dosažení úspory hmotnosti, by se měla optimalizovat tuhost konstrukce a schopnost pohltit energii pro krajní podmínky použití. Konstrukční inženýr může bodové svařování nahradit lepením, které dosahuje lepších naměřených hodnot mechanických vlastností a ještě spolu spojovat různé materiály, při různých tloušťkách plechu. Ke stavbě karoserie se dnes používá stále spektrum materiálů. Materiály, které nepřispívají k nárůstu pevnosti a tuhosti karoserie, dnes již tvoří jen zlomek

z celkového objemu součástí. Díky lepení je možné relativně snadno spojovat vysoce pevné ocele stejně jako hliníkové slitiny. Další materiály například uhlíkovými vlákny vyztužené plastické hmoty (CFK), hořčík či titan přicházejí také v úvahu, ale nutno dodat že v dnešní praxi nemají podstatnou roli.

2.2.2. Srovnání strukturního lepení s ostatními způsoby spojování materiálu ve stavbě karoserie /5/

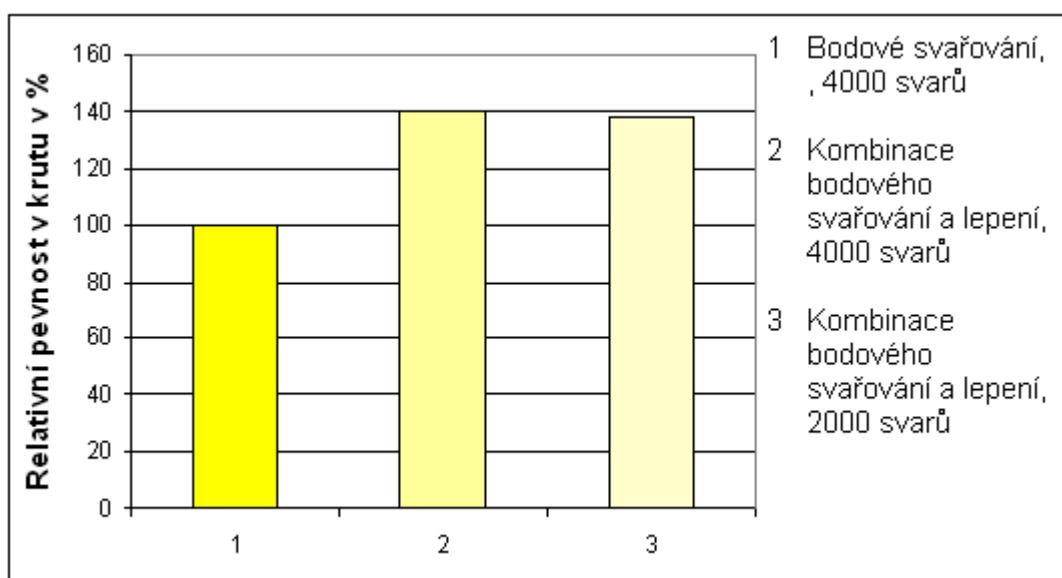
Hlavním cílem výrobce vozidla při stavbě karoserie je lehká konstrukce, rovněž minimalizace nákladů a to vše při zachování vysoké jakosti výroby. V současnosti se nárazupevné strukturní lepení plnohodnotně zařadilo mezi nejžádanější způsoby spojování, a to díky vlastnostem kterých dosahuje. Jak nám ukazuje Tab.2.2. Dokonce se zdá, že oproti ostatním získává převahu. Tab.2.2 hodnotí nejdůležitější způsoby spojování materiálů včetně nárazupevného strukturního lepení. Hodnotí rozhodující vlastnosti pro výrobní proces a finální funkci. Výsledky ukazují, že strukturní lepení klasické technologie spojování v téměř všech zkoumaných kritériích předstihuje. Výjimkou u lepení je nedostatečná počáteční pevnost, která se může zvýšit kombinací s jiným způsobem spojování.

Tab.2.2: Porovnání vlastností u způsobů spojování používaných při výrobě karoserií, +++ výborné, ++ velmi dobré, + dobré, 0 průměrné, , - špatné. /5/

Druhy spojování	Vícemateriálová konstrukce	Vyztužení karoserie	Pevnost v nárazu	Provozní pevnost	Korozní odolnost	Akustické vlastnosti	Rychlost výroby	Okamžitá pevnost
Nárazupevné lepení	+++	+++	+++	+++	++	+	+++	-
Bodové svařování	-	0	0	0	-	-	-	+++
Protlačování	-	0	-	+	0	-	-	+++
Nýtování	0	0	-	+	-	-	-	+++
Šroubové spoje	0	0	0	0	-	-	-	+++
Laserové svařování	-	++	++	++	0	0	0	+++
Laserové spojování	-	+	0	0	-	-	++	+++

Kombinace technologií spojování materiálů /5/

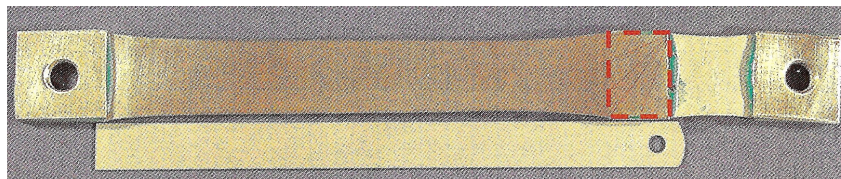
V následujícím textu se probírá, že potenciál hybridního lepení je velmi velký, jak zvýšením mechanických vlastností, tak i přispěním k snížení výrobních nákladů. Obr.2.2.7 zobrazuje vliv kombinovaného způsobu spojování na tuhost v krutu. Pro srovnání je zde také uvedeno bodové svařování. U neměnného množství bodových svarů se zvýší tuhost v krutu doplňkovým lepením přibližně o 40%, ale spoj je zjevně předimenzovaný. Pro dosažení téměř stejné vysoké tuhosti v krutu, stačí počet bodových svarů až o polovinu menší. Protože náklady za 100 bodových svarů jsou přibližně od 3 do 5ti eur, náklady na výrobu mohou výrazně klesnout. Hybridní lepení se tedy dá shrnout těmito slovy: vesměs nastane vyšší rychlost procesu a zároveň se dosáhne lepších vlastností a nižších nákladů. Toto také platí při ohledu na nanášení lepidla a náklady na materiál. Stejně jako viskoelastické polymery také nárazupevná strukturní lepidla jsou známa pro skvělou dynamickou únavovou stálost. Plocha spoje sníží lokální špičku napětí.



Obr.2.2.7 Vliv kombinace lepení a bodového svařování na torzní pevnost. /5/

Aby karoserie v případě nárazu mohla absorbovat co nejvíce kinetické energie, musí být lepený spoj vysoce pevný a také odolný proti rázovému zatížení. Bylo proto nutné zajistit mez pevnosti lepeného spoje minimálně stejnou, ale raději vyšší než u spojovaného materiálu. A sice za všech druhů provozu vozidla, za různých okolních a povětrnostních podmínek. Zejména za extrémních teplot. Nová nárazupevná lepidla dokáží vydržet tuto deformaci i extrémní podmínky. Obr.2.2.8 to dokazuje. Rázovým úderem ve smyku namáhaný lepený spoj oceli vydržel, a jak

je patrné hlavní část kinetické energie byla absorbována deformací kovu. Lepený spoj sice sám také přispíval k absorpci energie, ale jen sekundárně.

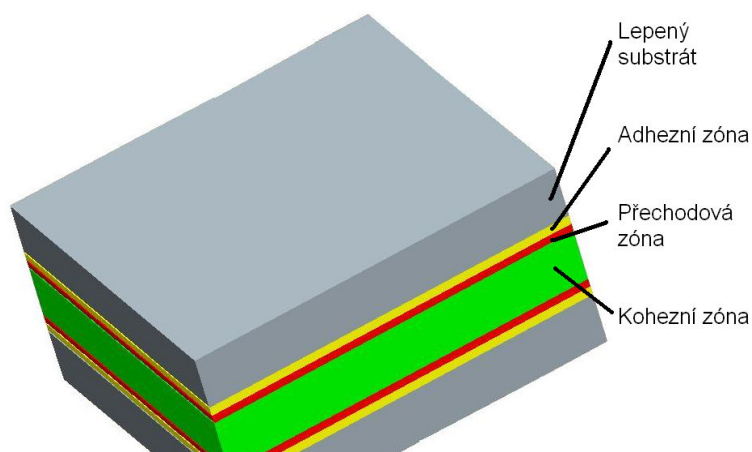


Obr.2.2.8 Deformace kovu rázovým zatížením při tahové zkoušce ve smyku (lepená plocha je červeně orámovaná). /5/

2.3. Teorie lepeného spoje

2.3.1. Síly působící uvnitř lepeného spoje

Teorie vzniku lepeného spoje je dána přitažlivými silami mezi lepidlem a substrátem, tzv. adhezí (přilnavostí) a přitažlivými silami mezi molekulami lepidla tzv. kohezí (soudržností). Obě tyto složky fakticky tvoří lepený spoj. Jejich hodnoty podstatně ovlivňují vlastnosti lepeného spoje.



Obr.2.3.1 Teorie lepeného spoje

2.3.1.1. Teorie adheze

Pro vysvětlení adhezivních sil bylo vypracováno v podstatě 5 teorií adheze.

- **Molekulová(adsorpční) teorie /6/**

Adsorpční teorie vysvětluje adhezi van der Walsovými silami, které působí mezi povrchovými molekulami lepidla a spojované hmoty. V prvním stadiu migrují makromolekuly z roztoku nebo taveniny k povrchu substrátu. Migrací polární skupiny, nebo skupiny které mohou tvořit vodíkové můstky se přibližují k podobným skupinám substrátu. Ve druhém stadiu se ustaví adsorpční rovnováha, při vzdálenosti

molekul menší než 5 nm začínají se uplatňovat sekundární valence či van der Waalsovi síly. Podle této teorie nemůže nikdy vytvořit adhezivní vazbu nepolární látka s polární.

- **Elektrická teorie /6/**

Je založena na jevu kontaktní elektrizace, která probíhá při těsném styku dvou dielektrik nebo dielektrika s kovem. Základní představy pro systém lepidlo – substrát byly odvozeny z analogie, kondenzátoru, elektrické dvojvrstvy. Při odlupování adheziva od substrátu stejně jako při zvětšování vzdálenosti mezi deskami kondenzátoru vzniká rozdíl potenciálů. Při pomalém oddalování povrchů se elektrické náboje přemísťují a neutralizují, takže likvidace původních nábojů probíhá při malých vzdálenostech mezi povrchy a oddělení povrchu bude zapotřebí jen malé práce. Elektrická teorie adheze nemůže uspokojivě objasnit vznik adhezivního spojení mezi polymery s příbuznou strukturou. Elektrická dvojvrstva může totiž vznikat jen za podmínek rozdílné hustoty volných elektronů v dotýkajících se polymerech. Tento rozdíl bude minimální u polymerů s příbuznou strukturou.

- **Difúzní teorie / 7/**

Podle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí polymerů(nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky, např. polymery, mohou navzájem difundovat a průběh této difúze, který závisí na času, teplotě, viskozitě, relativní molekulové hmotnosti apod. ovlivňuje pevnost spoje. Tuto teorii však není možno kvantifikovat, ani použít na výpočet pevnosti spoje z údajů o vlastnostech původních částí, vůbec nevysvětluje možnost spojení materiálů, které navzájem nedifundují(a přitom se např. systém kov-sklo, úspěšně lepí).

- **Chemická / 7/**

Na získání pevného spoje, který nebude vykazovat adhezivní, ale jen kohezivní lom, je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají spojit navzájem reagovaly vytvářením primárních, chemických vazeb napříč rozhraními. Přesto takové vazby někdy vznikají, všeobecně lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. Pokud by takové podmínky nastaly, nelze tvrdit, že vazbové reakce budou probíhat jen na povrchu materiálů, ani to, v jakém rozsahu takové reakce pevnost spoje ovlivňují, nebo či pevnost jednoznačně zvyšují.

- **Reologická / 7/**

Je to nejnovější teorie, podle které cokoliv způsobuje adhezi na rozhraní dvou materiálů, pevnost lepeného spoje je dána zásadně fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytvářejí lepený systém. Při podrobném zkoumání lomů se zjistilo, že roztrhnutí pravého spoje nikdy neprobíhá na jeho rozhraní, ale v jednom nebo druhém materiálu, tedy lom je kohezivní. Proto velký význam bude mít koheze jednotlivých součástí systému. Z toho je možné dojít k závěru, cokoliv způsobuje mezifázovou adhezi, pevnost lepeného spoje je dána mechanickými vlastnostmi materiálu utvářejících spoj a místními napětími ve spoji a ne mezifázovými silami, přestože lom je v podstatě vždy kohezivní. Toto vysvětlení neřeší otázky příčiny vzniku spoje, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoje.

2.3.1.2. Teorie koheze /8/

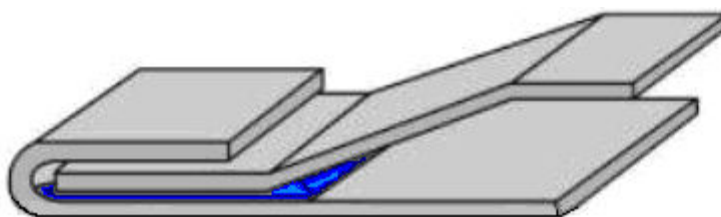
Soudržnost čili koheze je druhý, v lepicí technice často používaný pojem. Tímto pojmem rozumíme vnitřní pevnost lepidla. Je to souhrn všech přitažlivých sil, které brání oddálení jednotlivých molekul lepidla od sebe. Soudržnost vrstvy lepidla ve spoji však není stálá a neodpovídá pevnosti tyčinky odlité jen z pryskyřice. Pevnost se zvětšuje s ubývajícím tloušťkou vrstvy lepidla. U dobrého lepidla musí odpovídat koheze lepidla adhezi, kterou lpí lepidlo na povrchu. Při velmi dobře provedených spojih vidíme takový lom, že okraje mají porušení adhezivní, kdežto vnitřní třetina z délky spoje ukazuje porušení kohezivní. Velkou kohezivní pevnost vyžadujeme při lepení ploch u nichž není možné zajistit stejnou tloušťku lepené vrstvy.

2.3.2. Konstrukce lepeného spoje / 7, 9/

Konstrukce lepeného spoje hraje velkou roli, při zajištění pevnosti spoje. Při konstrukci lepeného spoje je třeba brát v úvahu např. jak velkou silou bude spoj namáhán, jaký bude průběh této síly (statický, dynamický), v jakém směru bude síla působit, jak dlouho atd.

Je důležité uvažovat se skutečností, že lepené spoje jsou nejvíce odolné ve smyku, přičemž velkou roli hraje styčná plocha tohoto spoje. Avšak dosahují značně menších hodnot při namáhání tahem a ještě horší výsledky ukazují v odlupování. Jako nejlepší se jeví spoj trubkový – nevyskytuje se namáhání na odlup a má velkou styčnou plochu pro namáhání ve smyku.

Nejpoužívanějším spojem ve stavbě karoserie je lemový spoj.

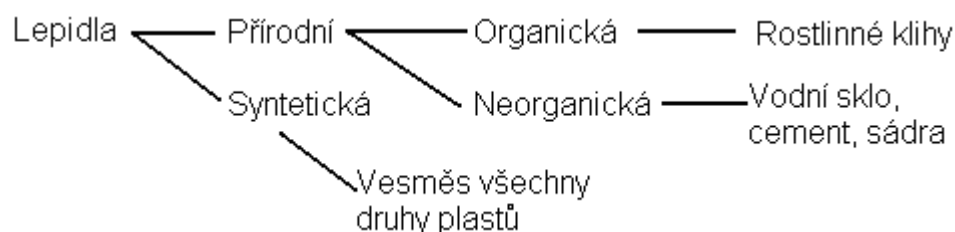


Obr.2.3.2 Lemový spoj.

2.4. Rozdělení lepidel v minulosti

Klasifikace lepidel je složitý problém, který lze zpracovat z nejrůznějších hledisek. Kdyby byl zpracován velmi podrobně, orientace by se stala velmi obtížnou. Proto jsou zde zvolena dělení která sice nejsou nejpodrobnější, ale postačí pro odlišení základních rozdílů.

Rozdělení základní:



2.4.1. Přehled lepidel podle principu tuhnutí ve spoji /10/

- **Lepidla roztoková tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody**

Nános těchto lepidel tuhne vsáknutím a odpařením vody použité jako rozpouštědlo. Základním předpokladem použití je poréznost a propustnost alespoň jednoho dílu pro plyny. Tato lepidla jsou nejlevnější ale spoje neodolávají vodě.

Paří sem lepidla:

- Kaseinová lepidla
- Klijhová lepidla
- Škrobová a dextrinová lepidla
- Lepidla na bázi derivátů celulózy
- Lepidla na bázi polyvinylalkoholu
- Lepidla anorganická - (sádra, cement, vodní sklo)

- **Lepidla disperzní tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody(latexy)**

Tato lepidla jsou velmi jemné disperze polymerů ve vodě. Po vsáknutí a odpaření vody dochází ke slinutí maličkých polymerních částecek v souvislý film. K tomuto slinutí může dojít jen nad tzv.minimální filmotvornou teplotou, odlišnou

pro různé disperze. Jako lepidla jsou nejrozšířenější disperze polyvinylacetátové, dále kopolymerní disperze vinylacetátové a akrylátové.

Mezi ně patří lepidla:

- Asfaltové emulze
- Kaučukové latexy
- Polivinylacetátové disperze
- Polyakrylátové disperze

- **Lepidla roztoková tuhnoucí odtěkáním organických rozpouštědel**

Řada termoplastů je rozpustná v organických rozpouštědlech na viskózní roztoky vyznačující se dobrou adhezí k mnoha materiálům. Všechna tato lepidla se zpracovávají stejným způsobem. Spoj vzniká vsáknutím a odpařením rozpouštědla. Roztoková lepidla mají jen nízký obsah sušiny, a díky tomu vytvářejí po zaschnutí jen tenký film. Proto mají minimální schopnost vyplnit nerovnosti spojovaných povrchů, což zvyšuje nároky na dokonalou úpravu lepených ploch. Film lepidla ve spoji zadržuje delší dobu zbytky rozpouštědla, spoj je dlouho měkký a konečné pevnosti dosahuje až po delší době. Mezi tato lepidla patří:

- Lepidla ze sloučenin celulózy
- Lepidla polyakrylátová a polymethakrylátová
- Lepidla polyamidová
- Lepidla polystyrenová
- Lepidla polyvinylacetátová
- Lepidla na bázi PVC a chlorovaného PVC

V této skupině se nachází podskupina lepidel, která je dnes ve strojírenství poměrně důležitá. Touto podskupinou jsou lepidla kaučuková.

Lepidla kaučuková

Roztoková kaučuková lepidla se zpracovávají nejčastěji za normální teploty. Mají dobrou adhezi k řadě materiálů a poskytují pružné a odolné spoje. Jsou nejčastěji jednosložková. Při zpracování postačí krátká doba otevřeného sestavení spoje. Mezi kaučuková lepidla patří:

- Lepidla na bázi přírodního kaučuku
- Lepidla na bázi nitrilového kaučuku
- Lepidla na bázi chloroprenového kaučuku

- **Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem zvýšené teploty**

Některá reaktoplastická (termoplastická) lepidla se dodávají v jednosložkové formě a vytvrzují pouze za zvýšené teploty. Tato lepidla na bázi epoxidových, fenolických, močovinových a melaminových pryskyřic se rozsáhle používají v průmyslu. Z toho důvodu bývají k dostání pouze ve velkých dávkách.

- **Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem vlhkosti okolního prostředí**

- a) **Kyanoakrylátová lepidla**

Monomerní kyanoakryláty tuhnou polymerací aktivovanou vzdušnou vlhkostí prostředí během několika vteřin až minut podle typu lepidla, druhu spojovaného materiálu a teploty. Spoj je elastický, houževnatý s širokou adhezní účinností. Lepidla jsou určena k lepení hladkých, nesavých a odmaštěných povrchů. Velmi dobrých výsledků se dosahuje při lepení oceli a duralů. Technicky dosažené pevnosti spoje se dosáhne zpravidla 30 minut po slepení, optimální pevnosti za 24 hodin. Odolnost lepených spojů bez významné ztráty pevnosti je od -50 do 70° C.

- b) **Silikonová lepidla**

K elastickému těsnění a lepení či fixaci ve stavebnictví, průmyslu i domácnostech se stále více používají silikonové kaučuky vulkanizovatelné vzdušnou vlhkostí. Jsou s kyselým vulkanizačním systémem acetátového typu, nebo s neutrálním vulkanizačním systémem. Mají výbornou přilnavost k řadě čistých a odmaštěných materiálů.

- **Lepidla reaktivní tuhnoucí kontaktem s kovy**

- Lepidla akrylátová**

Na bázi kapalných dimethakrylátů jsou dodávány jednosložkové anaerobní lepidla tmely tuhnoucí za nepřístupu vzdušného kyslíku ve spáře mezi kovovými součástmi za katalýzy povrchu spojovaného železa, mědi nebo slitin těchto kovů. Tyto tmely mají vysoký kapilární účinek, který umožňuje vyplnění i nejmenších spár ve spojích. Uplatňují se při zajišťování šroubů, matic, hřídel, pouzder atd.

- **Lepidla reaktivní tuhnoucí přidáním tvrdidel**

- a) **Lepidla epoxidová**

Epoxidové pryskyřice jsou velmi jakostní lepidla vhodná pro mnoho materiálů. Lepí se jimi především kovy, sklo a keramika. Pevné spoje vznikají při lepení pryže, fenolických, močovinných a melaminových výlisků a vrstvených hmot, skelných laminátů aj. Nejsou použitelné k lepení PVC, neupraveného polyethylenu, polypropylenu a některých dalších termoplastů. Epoxidová lepidla za normální nebo mírně zvýšené teploty jsou viskózní slabě nahnědlé kapaliny, dlouhou dobu beze změny skladovatelné. Zpracovávají se vždy ve směsi s tvrdidly, kterými bývá nejčastěji diethylenetriamin(tvrdidlo P 11) a tzv. aminoamidy. Epoxidy je třeba důkladně promíchat s tvrdidlem. Zpravidla se nanášejí jen na jednu z lepených ploch.

Nános lepidla má být natolik vydatný, aby tloušťka filmu dosáhla 0,1 až 0,2 mm. Tloušťku spáry lze pojistit distančními drátky nebo přimícháním prosátých korundových zrn do lepidla. Vytvrzené spoje jsou nerozpustné a netavitelné, tvrdé a křehké.

b) Lepidla polyuretanová

Tato lepidla jsou vhodná k lepení mnoha druhů materiálů, především kovů, pryže a termoplastů. Jsou zpracovatelná i za nízkých teplot a poskytují i spoje dostatečně přesné, pružné a odolné proti dynamickému namáhání, vodě i povětrnosti. Poměr mísení jednotlivých složek bývá 1:1 až 1:3, přičemž vlastnosti spojů nejsou tak citlivé na dodržení předepsaných poměrů, jako ke tomu u lepidel epoxidových. Existují také jednosložková polyuretanová lepidla využívající k vytvrzení vzdušnou vlhkost.

c) Ostatní lepidla reaktivní tuhnoucí po přidání tvrdidel

- Lepidla fenolická
- Lepidla močovinová
- Lepidla polyesterová
- Lepidla polymethakrylátová

• Lepidla tavná

Tavná lepidla jsou za normální teploty pevné látky termoplastického charakteru. Zpracovávají se tak, že se na krátkou dobu zahřejí na teplotu, při které se roztaví, zkapalní a stanou se lepivými, tzn. Podle druhu lepidel od 120 až nad 200°C. Tavenina se nanese na spojovaný povrch. Někdy se lepidlo nanáší ve formě prášků, pásků, fólií nebo na tkaninovém nosiči. Jindy se nanese na jednu spojovanou plochu a ponechá se ztuhnout, při lepení se pak ztuhlý film aktivuje teplem za mírného tlaku. Aktivace teplem je jednotný postup zpracování tavných lepidel v podobě pásků, fólií nebo prášků. Lepené dílce se při práci s tavnými lepidly zatíží na několik vteřin mírným tlakem. Po ochlazení má spoj zůstat několik vteřin pod tlakem, aby bylo zajištěno dostatečné ztuhnutí a počáteční pevnost spoje. Tavná lepidla jsou termoplastické materiály, které si udržují termoplasticitu i v lepeném spoji. Tato vlastnost umožňuje soubor rozpojit opětovným zahřátím. Tepelná odolnost je omezena bodem tání lepidla. Omezená je i odolnost proti rozpouštědlům. Tavná lepidla se vyrábějí převážně jako jednoúčelová k různým průmyslovým aplikacím – běžně v prodeji nejsou.

Tavná lepidla se používají:

- Tavná lepidla polyamidová

- Tavná lepidla polyesterová
- Tavná lepidla z kopolymerů ethylen-vinylacetát
- Tavná lepidla z polyvinylacetátu
- Tavná lepidla ethylcelulózy
- Tavná lepidla z polyethylenu

- **Lepidla stále lepivá, citlivá na tlak**

Lepidla stále lepivá označovaná též jako citlivá na tlak se používají výhradně v kombinaci vhodnými nosiči. Jde o tzv. samolepící pásy, folie a štítky s nanesenou lepicí vrstvou. Lepidla stále lepivá obsahují v podstatě tyto složky : termoplastický polymer nebo kaučuk, přírodní nebo syntetickou pryskyřici, změkčovaadlo popřípadě i další aditiva.

Toto dělení se nachází v literatuře z roku 1996. Literatura je věnována aplikacím a podmínkám pro lepení v domácím prostředí. Rozdělení je zde poměrně komplexní a dostatečné pro vysvětlení jak jednotlivá lepidla tuhnou, čímž vlastně vzniká spoj. Tudíž nám dodává jisté informace o tom jak jednotlivá lepidla v podstatě fungují ale nedozvíme se téměř nic o jejich vlastnostech. Navíc dnes již se např.do epoxidových lepidel nepřidávají tvrdidla. Dnešní podoba 1-K lepidel je nejčastěji pasta.

2.4.2. Rozdělení lepidel podle chemického složení / 7/

Tab.2.4 Rozdělení lepidel podle chemického složení /7/

Polymerná lepidla	Elastomerná lepidla	Plastomerná lepidla
Animoplasty	Polychloroprenová	Akrylátová
Epoxidová	Butadien-styrenová	Celulózové deriváty
Fenoplasty	Butylkaučukové, polyizobutylénové	Ionomery
Polybenzimidazoly, polybenzotiazoly	Nitrilkaučukové	Polyimidy
Polyamidy	Polysulfidové	Polyuretany
Polyestery	Silikonové	Vinylové polymery a kopolymery
Polyimidy	Na bázi přírodního kaučuku	Polysulfóny
Polyizokyanáty		Tavná lepidla

Takovéto rozdělení je v literatuře z roku 1980 a je v ní zpracováno velmi rozsáhle, ale zároveň nepřehledně. Většina lepidel se nehodí k lepení kovů ani plastů. Jde o rozdělení všech syntetických lepidel, proto je pro nás nezajímavé. Nás pro strojírenskou praxi a zejména pro lepení kovových plechů v karoserii zajímá rozdělení lepidel které jsou schopné lepit kovy a dosahovat potřebných vlastností spoje. Navíc z dnešního pohledu by bylo problematické zařadit do tohoto rozdělení lepidla jako např. kombinaci epoxidové pryskyřice s PUR. To samé platí pro následující rozdělení, které bylo použito v literatuře z roku 1961. Toto rozdělení je opět podle chemického složení lepidla /8/:

- Lepidla na bázi vinylických polymeů
- Polyuretanová lepidla
- Lepidla na bázi fenolformaldehydových pryskyřic, modifikovaných vinylickými polymery
- Lepidla na bázi epoxidových pryskyřic
- Lepidla na bázi syntetických pryskyřic

Tato lepidla se používala pro lepení kovů v roce 1961, ale dnes již neplatí. Například zde není uvedena skupina kaučukových lepidel, která si vydobyla své místo mezi lepidly používanými při stavbě karoserie i ve strojírenství jako takovém. Uvedená lepidla opravdu kovy mohou lepit ale dnes se kromě epoxidového a polyuretanového téměř nepoužívají.

2.4.3. rozdělení podle konzistence /6/

- Pevná - lepicí folie, lepicí filmy, prášky
- Polopevná - trvale lepicí hmoty
- Tekutá :
 - roztoky
 - disperze
 - pasty
 - pěny

Toto dělení má i dnes své opodstatnění. Sice neříká nic o vlastnostech lepidla, ale je důležité z hlediska zařízení, které bude zpracovatel potřebovat, pro aplikaci lepidla.

2.4.4. Dělení lepidel podle dodací formy /9/

Jednosložková – jsou technologicky výhodnější, protože nejsou tak náročná na pracovní kázeň, např. dodávaná jako lepicí folie.

Dvosložková a vícesložková – jsou pravděpodobně nejrozšířenější skupinou lepidel vytvrzujících se chemickou reakcí.

U tohoto třídění lepidel platí téměř to samé jako u předchozího dělení. Je podstatné pro zpracovatele z hlediska potřebného zařízení. Dnes se jednosložková lepidla označují jako 1-K a dvousložková jako 2-K.

2.4.5. Rozdělení lepidel podle teploty při vytvrzení /9/

Většinou se v praxi používá jen pro dělení na takzvaná **studená** a **horká** lepidla, i když to není zcela přesné. U většiny studených lepidel lze totiž vytvrzování urychlit zahřátím na zvýšenou teplotu. Ve strojírenství se u lepidel používaných na spojování kovů tohoto jevu při zvýšené teplotě hojně využívá.

Toto rozdělení platí i dnes. Studená lepidla jsou převážně 2 komponentní. Ale většina lepidel používaných při stavbě karoserie má za podmínku vytvrzení teplem, tedy jde o horká lepidla. Tato teplota nastane při vypalování plechu v lakovně. Ale nejde zde o urychlení děje. Zvýšená teplota je potřebná k samotnému vytvrzení. Aby se s díly s nevytvrzenými spoji mohlo manipulovat a nehrozilo poškození spoje používají se indukční předvytvrzovače.

2.4.6. Přehled chemických reakcí probíhajících při vytvrzování /9/

Lepidla se vytvrzují podle tří základních druhů chemických reakcí:

Polykondenzace – je slučování většího počtu molekul stupňovitým mechanismem v makromolekuly, provázené odštěpováním jednoduchých molekul, například vody, alkoholu a podobně. Produkt polykondenzace má jiné elementární složení než výchozí monomery.

Polymerace – je polyreakce, při níž se molekuly monomeru spojují řetězovým mechanismem v makromolekuly polymeru, aniž se odštěpuje voda nebo jiná jednoduchá látka. Produkt má většinou stejné elementární složení jako monomer.

Polyadice – probíhá podle podobného reakčního mechanismu jako polykondenzace, totiž postupným mechanismem. Nedochozí však k odštěpování nízkomolekulární látky, protože funkční skupina jedné ze složek se aduje na dvojnou vazbu. Elementární složení polymeru je stejné jako složení monomeru.

Toto dělení je možno ještě doplnit o vulkanizaci. Jinak je celkově nepoužitelné. Druh chemické reakce přímo souvisí s chemickým základem lepidla. Např. chemická reakce polymerního lepidla je polymerace atd.

2.5. Současné rozdělení

Rozdělení lepidel podle jednotlivých firem je zpravidla závislé na jejich výrobních programech. V současné době používá každý výrobce lepidel jiné rozdělení svých výrobků. Rozdělení firmy Sika například svá lepidla dělí podle technologií jimiž je vyrábí a pro jaké účely je vyrábí. Oproti tomu firma Henkel svá lepidla dělí podle způsobu vytvrzení a zda jsou reaktivní či nikoliv. Firma Dow automotive zvolila rozdělení hned dvojí. Za prvé podle mechanických vlastností lepidla a za druhé podle polymeru jenž je základem pro lepidlo.

Jak již bylo řečeno, velmi významným spotřebitelem lepidel u nás i v Evropě je automobilový průmysl. Je tedy zřejmé, že firmy vyrábějící lepidla úzce spolupracují s automobilovými koncerny. Je otázkou, zda by nebylo vhodné ujednotit hodnocení lepidel, jejich členění a materiálové listy alespoň v rámci celé Evropské unie. Je očividné, že by to bylo ku prospěchu věci, jak pro výrobce, tak i pro zpracovatele. Výrobce by mohl porovnávat svá lepidla s konkurencí a ta by ho nutila stále zlepšovat své výrobky. Z toho by samozřejmě těžil zpracovatel, pro nějž by se stalo velmi snadným vybrat si vhodné lepidlo pro své záměry.

2.5.1. Rozdělení strukturních lepidel podle Dow Automotive /5/

Strukturní lepidla lze rozdělit do tří tříd podle aplikačních vlastností:

- Nárazupevná(crashová) lepidla
- Polo-nárazupevná(semi-crashová) lepidla
- Lepidla standardní

Toto rozdělení se zaměřuje na mechanické vlastnosti lepeného spoje, zejména na následující uvedené charakteristické hodnoty:

- Modul pružnosti
- Smykovou pevnost ve střihu
- Tažnost při přetržení
- Rázovou pevnost v odlupování u 23 °C
- Rázovou pevnost v odlupování u -40 °C

S výjimkou modulu pružnosti jsou tyto charakteristické hodnoty normovány. Absolutní hodnoty jako základ pro dělení jsou srovnatelné, pouze jsou-li zkušební podmínky identické. Tab.2.4 udává přehled charakteristických hodnot mechanických vlastností těchto tří skupin lepidel. Tyto hodnoty byly naměřeny pro lepený substrát CRS 1,5 mm při rychlosti 10 mm/min a pro CRS 1mm při rychlosti 2 m/s pro pevnost v odlupu.

Tab.2.4: Typické vlastnosti tří tříd strukturních lepidel /5/

Vlastnosti	Strukturní lepidla		
	Nárazupevná	Polo-nárazupevná	Standardní
Modul pružnosti [MPa]	1400-2000	2000-3000	3000-6000
Pevnost ve smyku [MPa]	>25	>22	>20
Tažnost %	>8	5-8	<5
Rázová pevnost v odlupu při 23 °C [N/mm]	>35	>15	<10
Rázová pevnost v odlupu při -40 °C [N/mm]	>20	>8	0

Dále se lepidla dají dělit podle druhu polymeru, jenž je základem pro lepidlo:

- Polyuretan
- Kaučuk
- Akrylát
- Epoxid

2.5.2. Lepidla od společnosti Henkel /14/

Třídění lepidel této firmy, které je zde uvedeno, je pouze pro lepidla užívaná v automobilovém průmyslu. Tato lepidla jsou vyráběna především pod značkou Teroson. Celý sortiment firmy Henkel obsahuje velké množství lepidel od těch používaných na papír až k lepidlům na podlahové krytiny. Lepidla od společnosti Henkel zná každý z nás díky reklamě na vteřinové lepidlo Pattex Superfix.

- **1-K vytvrzované teplotou**
 - Butylkaučuky
 - Epoxidy
 - PVC-plastisoly
 - PMMA-plastisoly
- **1-K nereaktivní**
 - Butylkaučuky
- **1-K vytvrzované vzdušnou vlhkostí**
 - Polyuretany
 - MS-polymery
 - Silikony
- **2-K reaktivní**
 - Butylkaučuky
 - Epoxidy
 - MS-polymery

– Silikony

Příklad použití lepidel firmy Henkel v automobilovém průmyslu

- **lepení střešních výztuh-** Terostat-2710 F, Terostat-2710 S(obě 1-K butylkaučuk nereaktivní)
- **plastické těsnění mezi plechy-** Terostat-2469(1-K butylkaučuk nereaktivní)
- **bodově provařitelné těsnění-** Terostat-1244 BX-25(1-K butylkaučuk reaktivní)
- **lepení výztuh dveří a kapoty-** Terostat-3216(1-K butylkaučuk reaktivní)
- **lepení lemů dveří a kapoty-** Terokal-8026 GB-25(1-K směs epoxid-PVC)
- **strukturní lepení-** Terostat-5196 VW-25(1-K butylkaučuk reaktivní)
- **strukturní lepení-** Terokal-5078 AA-25(1-K epoxid)

2.5.3. Lepidla vyráběná firmou Sika /2/

Firma Sika dodává několik druhů lepidel pro automobilový průmysl. Jsou to třídy SikaForce, SikaFlex, SikaPower. Nejvýznamnější skupinou je SikaPower, která je na bázi epoxy-PUR. Ostatní skupiny jsou především na bázi 1-K PUR nebo 2-K PUR, z toho také vyplývá že nedosahují takových mechanických hodnot jako SikaPower

- Konstrukční 1-komponentní lepidla
- Lepidla na bázi polyuretanu pro lepení autoskel
- Lepidla na bázi polyuretan hybridu
- Teplem urychlovaná lepidla
- Lepidla pro zasklívání
- Flexibilní lepidla
- Rychlá lepidla
- Laminární lepidla
- Tavná lepidla
- Kyanoakrylátová lepidla
- UV lepidla

2.5.4. Lepidla vyráběná společností 3M /15/

Firma 3M se nespécializuje pouze na lepidla, škála druhů výrobků je velmi široká. Od produktů pro zdravotnictví až po výrobky pro letecký průmysl. Zároveň je jednou z největších firem zabývajících se výrobou lepidel jak v USA tak i v celosvětovém měřítku. Tato společnost má široké spektrum druhů lepidel. Jedním z produktů firmy 3M jsou tzv. „Zelená lepidla“, která jsou jednak šetrná k životnímu prostředí a zároveň nejsou zdraví škodlivá. Pro lepení v automobilovém a strojírenském průmyslu jsou to hlavně lepidla řady Scotch-Weld. Tato lepidla mají široké možnosti použití od lepení plastů až po vysokopevnostní lepení karoserií.

- Strukturní lepidla (vysokopevnostní lepení plechů v karoseriích)
- Plastová lepidla (pro lepení plastů např. PVC, ABS)
- Instantní lepidla (rychlé vytvrzení, vysoká pevnost, pro lepení kovů a plastů)
- Polyuretanová reaktivní lepidla (tuhé a pružné spoje, pro lepení kovů a plastů)
- Kaučuková a těsnicí lepidla (pevné a pružné spoje, pro lepení plastů)
- Kontaktní lepidla (vysoká pevnost, ekologické, různé aplikace, lepení kovů)

2.6. Vlastnosti současně používaných lepidel /5, 11/

1) Polyuretanová lepidla /5/

Při snaze zařadit polyuretanové lepidlo do skupiny strukturního lepení, se ukázala jeho schopnost přilnout k mastným povrchům, která je ve stavbě karoserie nutně žádána, zpočátku nedostatečná. Ale skrze slučování s epoxidovou pryskyřicí, která přilnutí k mastnému povrchu usnadní, se dá dosáhnout výrazného zlepšení. Tento druh lepidel se používá mimo výše zmíněné kombinace s epoxidovou pryskyřicí také jako 1-komponentní nebo 2-komponentní montážní či výplňové lepidlo. Samotné polyuretanové lepidlo se jako konstrukční používá výjimečně. Používá se např. pro lepení autoskel, kašírování ve vnitřním prostoru vozidla a lepení doplňkových dílů na karoserie. Při jeho použití se využívá jeho tlumící a těsnicí vlastnosti. Výrobu a propagaci těchto lepidel nejvíce zastávají firma Sika a Henkel, které nabízejí nejširší sortiment PUR ve výše uvedených provedeních na trhu.

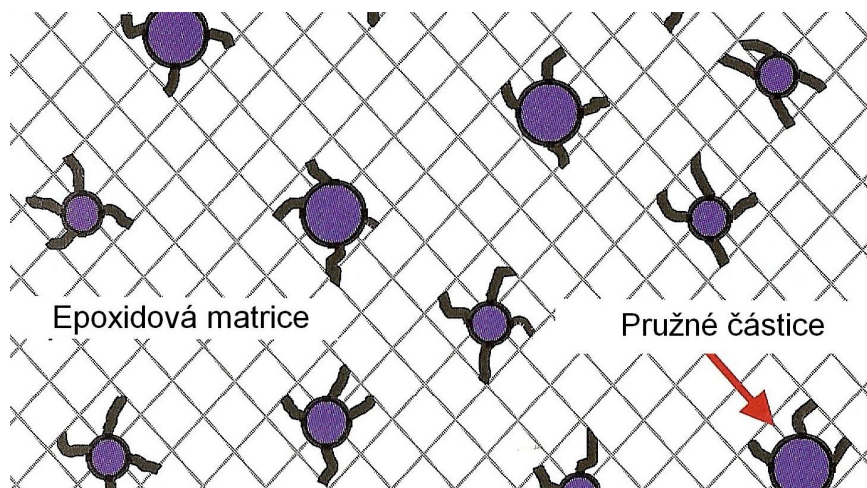
2) Kaučuková lepidla /5/

Kaučukové lepidlo je naprosto snášenlivé k oleji, díky tomu že mají kaučuky nízké teploty zesítnění. Kvůli dosažení vyššího modulu pružnosti, musí nastat silné chemické zesítnění. Se stoupající hustotou zesítnění dojde ke zvýšení teploty skelného přechodu. To má za následek dosažení vysoce pevného kaučukového lepidla. Kaučuky se v minulosti využívaly pouze jako tmely, či výplňová lepidla. Nanejvýš se přidávaly do epoxidové pryskyřice, ale to dnes již neplatí. Dnes není výjimkou smyková pevnost kolem 12 MPa, což bylo dříve nemyslitelné. Tato lepidla má nejlépe vyvinuta firma Henkel a především díky ní bude v budoucnu docházet k jejich dalšímu pronikání kaučukových lepidel do konstrukce automobilů i jiného odvětví průmyslu.

3) Epoxidová lepidla /11, 5/

Užitnost epoxidové pryskyřice jako lepidla v mnoha technických aplikacích je limitována její křehkou povahou. Dnes se používá několik způsobů jak zvýšit jejich houževnatost. Tyto způsoby jsou chemické modifikování hlavního řetězce pro zvýšení jeho pružnosti, zvyšování molekulární váhy, snižování hustoty vazby mezi řetězci matrice, rozptýlení houževnaté fáze v matrici polymeru a začlenění anorganických plničů do čisté pryskyřice. Mezi těmito postupy se jako nejefektivnější ukázalo používání rozptýlené houževnaté fáze v matrici. Tyto přísady sloužící pro zvyšování houževnatosti mohou být reaktivní nebo nereaktivní kaučuk. Ačkoli je houževnatost zvýšena díky přidání těchto kaučukových plnidel, další mechanické vlastnosti klesají. Novým postupem pro zlepšení houževnatosti epoxidové pryskyřice je zařazení nanoplavidel v systému lepidla. Epoxidová lepidla s jejich vysokou pevností, jejich dobrou přilnavostí k mastnotám na lepeném dílu, a jejich jak je známo dlouhé době skladovatelnosti, jsou mezi třídami strukturních lepidel první volbou. Nejprve ale musel vzniknout nový modifikační systém, který spoj obdařil vyšší houževnatostí. Ta platí ve velmi širokém intervalu teplot. Teplota -40°C může být klidně spodní hranicí funkčního intervalu teplot.

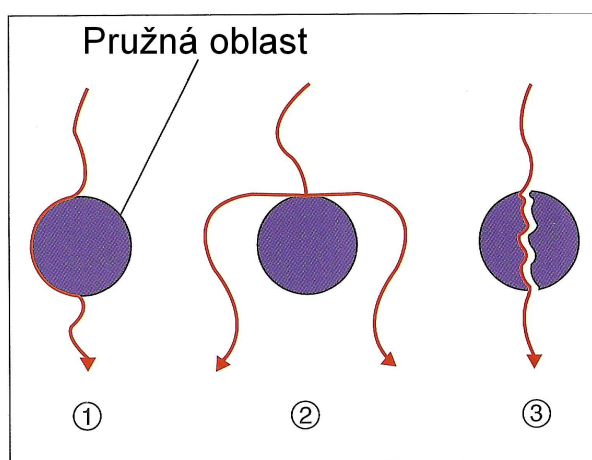
Tato třída lepidel je progresivní při vyšší teplotě skelného přechodu. Modifikace pro optimální rázovou pevnost. Již před více než 20ti roky se k tomu používala směs houževnatého kaučuku, který vedl k jasnému zlepšení rázové houževnatosti epoxidového lepidla. Takovéto houževnato-pevné epoxidové lepidlo se ukázalo nedostatečné pro použití v oblastech vozidla kde hrozila deformace nárazem. Technicky lepších vlastností bylo dosaženo vyvinutím 2-komponentního systému s modifikací rázové houževnatosti (*Obr.2.6.1*).



Obr.2.6.1 Modifikovaná epoxidová pryskyřice /5/

Malé tvárné oblasti o velikosti přibližně od 500 do 2000 nm jsou sloučeny reaktivně s epoxidovou matricí. Tyto izolované houževnatě pružné oblasti jsou produkty reakce isokyanátu, polyolu a pryskyřice. Další reakční produkty účinkují jako flexibilizátory. Tato vysoce výhodná kombinace se může být nazývána synergistické houževnato-pevné epoxidové lepidlo. Při rázovém zatížení a místní vysoké špičce napětí redukuje koncentrace energie, tím zabraňuje růstu trhlin a pohlcuje deformační energii.

Při tomto vzniklém trojrozměrném rozhraní průřezem lepidla, by se mohlo stát, že by působily nechtěné četné stavy komplexní napjatosti, ale malé trhlinky vedoucí přes lepený spoj se rovnoměrně rozloží a energii absorbují.



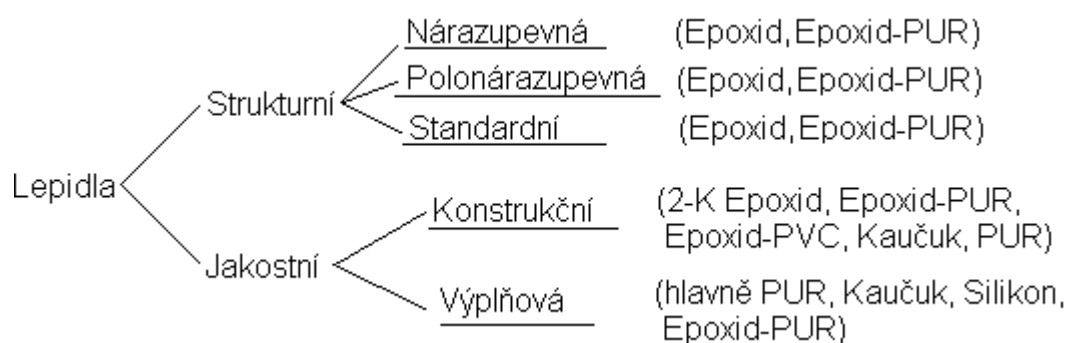
Obr.2.6.2. Model možných průběhů trhlin. /5/

Epoxidová lepidla má nejlépe vyvinuta společnost Dow Automotive. Jejich lepidla mají velmi vysoké mechanické vlastnosti. Patří do skupiny strukturních lepidel, a jsou mezi nimi i lepidla nárazupevná. Tato lepidla představují to nejlepší co současný trh nabízí.

Akrylátová lepidla se používá jen v omezené míře při stavbě karoserií. Proto zde nejsou zmiňována.

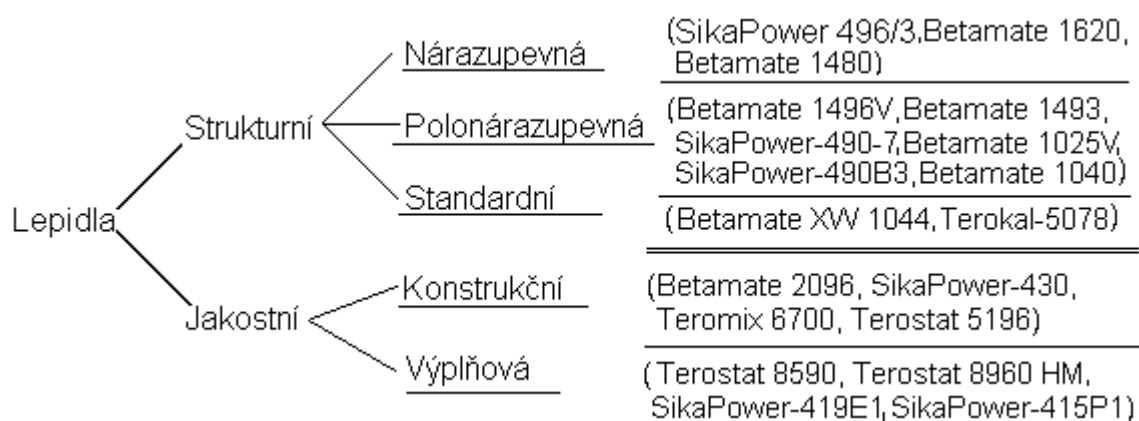
2.7. Návrh na rozdělení lepidel

S ohledem na výše uvedené by bylo vhodné současně používaná lepidla dělit dle jednotných pravidel. Příklad možného rozdělení, např. podle mechanických hodnot je uveden na Obr.2.7.1.



Obr.2.7.1 Rozdělení lepidel podle mechanických vlastností. A přiřazené chemické základy lepidel spadající do jednotlivých skupin.

Na Obr.2.7.2 je znázorněno základní možné rozdělení stávajících lepidel, včetně současných představitelů, tak jak by se do jednotlivých skupin dle současných vlastností hodily.



Obr.2.7.2 Současní představitelé jednotlivých skupin zvoleného rozdělení .

Tab.2.7 Mechanické vlastnosti skupin lepidel podle zvoleného rozdělení.

	Strukturní lepidla			Jakostní lepidla	
	Nárazupevná	Polo-nárazupevná	Standardní	Konstrukční	Výplňová
Modul pružnosti [MPa]	1400-2000	2000-3000	3000-6000	100-3000	100-2000
Pevnost ve smyku [MPa]	>25	>22	>20	>5	<5
Tažnost[%]	>8	5-8	<5	10-200	10-400
Rázová pevnost v odlupu při 23°C [N/mm]	>35	>15	<10	<10	<5
Rázová pevnost v odlupu při -40°C [N/mm]	>20	>8	0	0	0

Tyto mechanické hodnoty, stejně jako hodnoty v Tab.2.4, by měly být naměřeny na lepeném substrátu CRS o tl. 1,5 mm při rychlosti 10 mm/min pro výslednou pevnost ve smyku. Pro hodnoty pevnosti v odlupu by se používal substrát CRS o tl. 1mm při rychlosti 2 m/s.

Tento dodatek je velice podstatný. Protože při zkoušení lepených spojů nemají vliv na konečnou pevnost spoje pouze vlastnosti lepidla, ale velkou měrou se na výsledcích podílí mechanické vlastnosti lepeného plechu a povrchová úprava proti korozi. Tím se např. myslí, že zároveň pozinkovaný plech bude mít jiné pevnostní výsledky než plech bez povlaku tzv. černý.

Toto rozdělení bylo vybráno, protože je podle mého názoru pro spotřebitele velmi důležité vědět, jakých mechanických hodnot bude dosahovat lepený spoj při užití toho kterého lepidla. Dalo by se říci, že tato informace je nejdůležitější. Toto by samozřejmě platilo pouze za předpokladu, pokud by uživatel chtěl lepidlo pro spoj, který bude nějakým způsobem mechanicky namáhán. Toto rozdělení totiž přímo nezahrnuje informace o tom, jak dané lepidlo ve spoji tlumí rázy, nebo do jaké míry těsněním snižuje korozní náchylnost spoje apod. Tato informace by v daném rozdělení sice nebyla přímo uvedena, ale schopnost tlumení chvění a těsnění, z názvů podskupin a jejich mechanických vlastností částečně vyplývá (viz. kap.2.7.1).

Dělení podle mechanických vlastností bylo převzato částečně od společnosti Dow Automotive(viz kap. 2.5.1.). U tohoto rozdělení ale vznikl problém, jak přiřadit k jednotlivým skupinám lepidla jež nedosahovala předepsaných mechanických vlastností. Hodnota pevnosti ve smyku zde končila na 20 MPa, ale těchto hodnot velká část lepidel nedosahuje. Proto bylo toto dělení doplněno o skupinu jakostních lepidel, která se dělí na konstrukční a výplňová. Nároky na lepidla patřících do těchto podskupin jsou logicky nižší. Ale konstrukční lepidla, by i kvůli slovu konstrukční v názvu, měla dosahovat určité pevnosti po vytvrzení spoje. Základní mechanické vlastnosti lepidel pro začlenění do skupin jsou uvedeny v Tab.2.7.

Nevýhodou tohoto rozdělení tedy je, že neuvádí jiné vlastnosti lepeného spoje, než na které je zaměřeno. Ale to po porovnání ostatních způsobů rozdělení lepidel (viz. kap.2.4) nedokáže vlastně žádné. Každé rozdělení se zabývá určitými kritérii a

ty ostatní víceméně opomíjí. Z pohledu uživatele by mělo být zvolené rozdělení podle mechanických vlastností nejtransparentnější, protože o lepidle podává důležité informace.

Toto rozdělení bylo navrženo pro třídění lepidel používaných převážně v automobilovém průmyslu, popřípadě ve strojírenství. Tato lepidla jsou specifická svými vlastnostmi. Pro lepidla používaná v jiných odvětvích toto dělení postrádá smysl.

Rozdělení lepidel společností Sika a 3M bylo získáno z jejich webových stránek a rozdělení firmy Henkel z firemní prezentace (viz. kap.2.5.). Takto by mohly vypadat webové stránky výrobců, kdyby přijaly za své rozdělení podle mechanických vlastností.

- ❖ Nárazupevná lepidla
- ❖ Polonárazupevná lepidla
- ❖ Standardní lepidla
- ❖ Konstrukční lepidla
- ❖ Výplňová lepidla

Je zřejmé, že takováto podoba by byla velice transparentní.

2.7.1 Vlastnosti jednotlivých skupin lepidel zvoleného rozdělení

Podskupina nárazupevných lepidel svými mechanickými vlastnostmi vyčnívá nad ostatními skupinami. Spoje lepené těmito lepidly jsou nejpevnější, odolávají nárazu i odlupu. Pokud uživatel hledá velkou pevnost a bezpečnost, jistě sáhne do této skupiny. Na druhou stranu tato lepidla jsou poměrně drahá a vrstva lepidla ve spoji je v desetinách milimetru. Z toho vyplývá, že tento spoj nebude příliš tlumit chvění ani odolnost proti korozi nebude nejlepší. V automobilu tato lepidla jistě budou zvyšovat bezpečnost posádky v kokpitu, proto budou použity v deformačních zónách v její blízkosti v kombinaci s vysokopevnostními oceli. Jak vyplývá z Obr.2.7.1, polymerním základem těchto lepidel je zatím vždy epoxidová pryskyřice.

Podskupiny polonárazupevných a standardních lepidel jsou na tom podobně jako nárazupevná lepidla. Nedosahují sice takových mechanických hodnot, ale jejich hodnoty pevnosti ve smyku je stále předurčují pro pevnostní spoje. Mohou být využity v automobilu v oblastech ohrožených nárazem, ale jejich schopnost přestát náraz je omezená. Ve stavbě karoserie se budou používat o něco dále od kokpitu než

nárazu pevná lepidla, kde může docházet k větším deformacím karoserie. Toto platí především pro lepidla standardní.

Podskupina konstrukčních lepidel by neměla být použita v automobilu s úmyslem snižování deformace při nárazu. Tomuto využití totiž neodpovídají mechanické vlastnosti spoje, jak vyplývá z Tab.2.7. Tato lepidla najdou uplatnění tam, kde je potřeba určitá hodnota pevnosti spoje, ale zároveň jsou zde požadavky na dobrou těsnost spoje a útlum chvění. Tloušťka vrstvy lepidla bude pro takové spoje větší, v řádech milimetrů.

Výplňová lepidla jsou poslední podskupinou. Tato lepidla, jak už vyplývá z jejich názvu neslouží pro pevnostní spoje. Jejich pevnost ve smyku dosahuje jak je zřejmé z Tab.2.7 maximálně 5 MPa. Jsou předurčena pro použití v místech kde je zapotřebí maximální těsnosti a schopnosti tlumení chvění. Z Obr.2.7.1 je zřejmé, že základem těchto lepidel jsou především polyuretany, kaučuky a silikony.

2.7.2 Návrh technického listu

Z poskytnutých technických listů lze vyčíst, které údaje zveřejňují konkrétní výrobci. Technické listy byly k dispozici od společností Sika, Dow Automotive, Henkel a 3M. Od každého výrobce je v příloze uveden jeden technický list na ukázkou. Tyto technické listy jsou rozdílné jak po stránce zpracování tak i poskytnutými informacemi. Některé listy obsahují poměrně komplexní údaje o mechanických vlastnostech a možnostech použití. Jiné jsou méně podrobné (viz. příloha 1). Zkráceně se dá říci, že orientace na trhu s lepidly pro zpracovatele není lehká. Proto je v této práci uveden návrh jednotného technického listu, který by musel být dán evropskou normou a byl by stejný pro všechny výrobce. To by mělo vést k lepší přehlednosti pro uživatele, větší konkurenci mezi výrobci a zvýšení konkurenceschopnosti proti lepidlům vyráběným mimo EU. Platí, že takovýto technický list byl navržen pro lepidla určená pro lepení převážně v automobilovém popřípadě strojírenském průmyslu.

Technický list	
<div>Zel-lep s.r.o.</div>	
<div>Zel-lep s.r.o. Automotive</div>	<div>Strukturní lepidlo</div> <div>1-K</div>
	<div>Nárazupevné</div>
	<div>Oblast použití: Kovy(plechy), plasty, sklo</div>
	<div> <div>Základ</div> <div>Epoxidová pryskyřice</div> <div>Modul pružnosti E</div> <div>1600MPa</div> <div>Pevnost ve smyku</div> <div>48MPa</div> <div>Tažnost při přetržení</div> <div>7%</div> <div>Rázová pevnost v odlupu při 23°C</div> <div>48 N/mm</div> <div>Rázová pevnost v odlupu při -40°C</div> <div>40 N/mm</div> </div>
	<div> <div>Rázová pevnost ve smyku</div> <div>Barva</div> <div>Hustota</div> <div>Viskosita</div> <div>Bod vznícení</div> <div>Podmínka vytvrzení</div> <div>Standardní vytvrzení</div> <div>Teplotní rozsah použitelnosti</div> <div>Maximální hmotnost oleje na lepené ploše</div> </div>
<div>Vlastnosti specifikující vhodnost použití:</div>	

Obr.2.7.3 Návrh jednotného technického listu. List č.1.

Technický list		
<div>Zel-lep s.r.o.</div>		
<div>Zel-lep s.r.o. Automotive</div>	Strukturní lepidlo	1-K
	Nárazupevné	
	<p> Bližší specifikace použití lepidla. Další vlastnosti lepidla. Dodací forma Podmínky pro vytvrzení. Úprava povrchu. Skladování. Bezpečnost. </p>	

Obr.2.7.4 Návrh jednotného technického listu. List č.2.

Na Obr.2.7.3 a Obr.2.7.4 je uveden návrh, jak by mohl vypadat jednotný technický list lepidel pro strojírenský průmysl. Je zde uveden jeden příklad. V kolonkách se mohou střídát skupiny a podskupiny, kterých bylo použito v rozdělení lepidel podle mechanických vlastností v kap. 2.7. (viz. Obr. 2.7.5). **Rozdělení podle mechanických hodnot** bylo zahrnuto do technického listu proto, že jako jediné podává základní informace o mechanických vlastnostech lepidla. V kombinaci s navrženým **technickým listem** by měly být nástrojem, jak usnadnit orientaci na trhu s lepidly. Hodnoty mechanických vlastností pro strukturní lepidla, byly částečně převzaty od firmy Dow Automotive. Jednotlivé mechanické hodnoty(viz. Tab.2.7) by mohly být v diskuzi o jednotném technickém listu upraveny.

Jakostní lepidlo	2-K
Konstrukční/Výplňové	

Obr.2.7.5 Možné varianty skupin lepidel v navrženém technickém listu

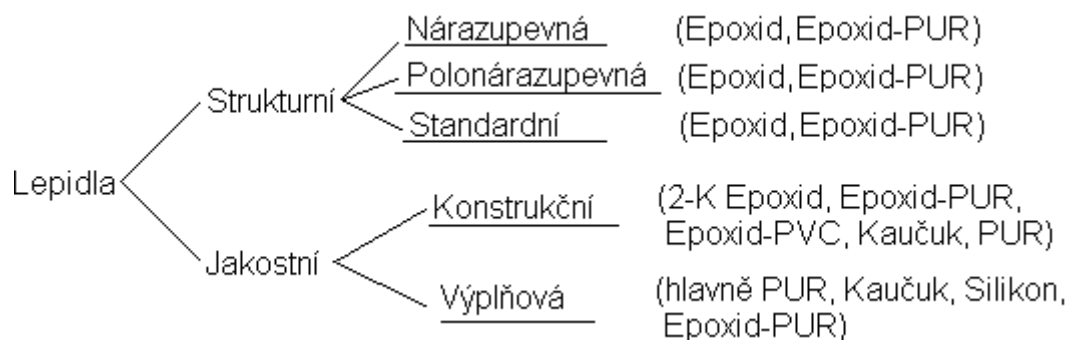
Na první straně dole je místo pro výrobce, aby specifikoval vlastnosti lepidla, které by definovaly jeho možné využití. Například, že se lepidlo hodí pro těsnění a tlumení chvění. Nebo také pro zveřejnění naměřených mechanických hodnot při jiných podmínkách(např. lepší pevnostní hodnoty pro lepení plechu s jinou úpravou povrchu), než by bylo stanoveno normou.

Na Obr.2.7.4 je zobrazen list č.2, zde je místo pro všeobecnější informace. Pokud by některý výrobce potřeboval více prostoru, list č.2 by se mohl požit vícekrát.

Pro zavedení jednotného listu, by musely být stanoveny podmínky, za kterých byly tyto vlastnosti naměřeny . Tyto podmínky by musely být pro všechna lepidla stejné, tedy upraveny pokud možno normou příp. domluvou atd.. To by znamenalo stejný materiál lepeného substrátu se stejnou povrchovou úpravou, za stejných rychlostí, teplot a pod.

3. ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo **zvolení hodnotících kritérií pro rozdělení lepidel používaných v současnosti v automobilovém průmyslu**. Po prostudování různých způsobů rozdělení lepidel z dostupné literatury [4, 6, 7, 8, 9], byly zvoleny hodnotícím kritériem **mechanické vlastnosti** spoje, kterých bylo dosaženo konkrétním lepidlem. Toto rozdělení bylo částečně převzato od firmy Dow Automotive(viz. kap. 2.7).



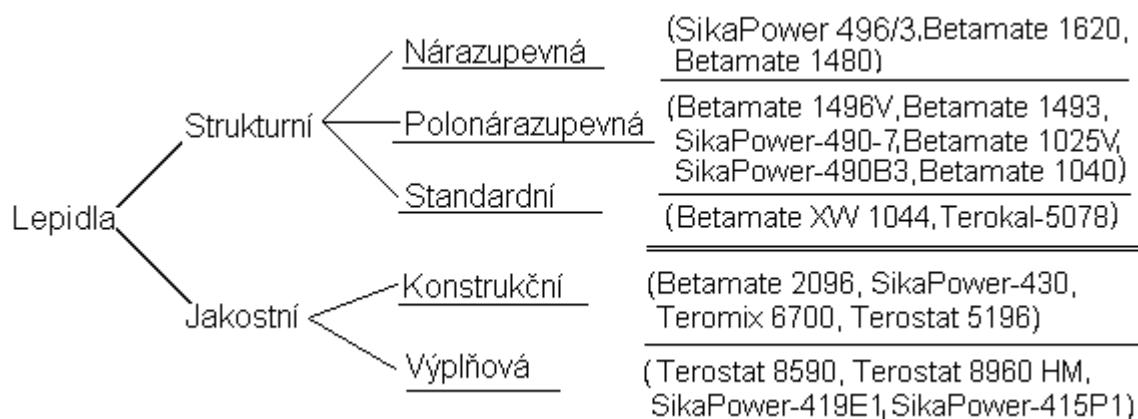
Obr.3.1 Rozdělení lepidel podle mechanických vlastností.

Hodnoty mechanických vlastností, podle kterých se lepidla dělí do jednotlivých skupin zvoleného rozdělení, jsou uvedeny v Tab.2.7.

Většina výrobců svá lepidla dělí podle firemního sortimentu a výrobních technologií. Každý výrobce udává ve svých technických listech jiné informace. Více či méně upravené ve prospěch svého lepidla, některé vlastnosti naopak neudává vůbec(viz. Příloha 1). Tento jev je zcela logický. Ale zároveň se to stalo jedním z důvodů, proč je situace na trhu s lepidly nepřehledná.

Zvolené rozdělení podle mechanických vlastností se snaží poskytnout spotřebiteli základní informace o jednotlivých typech lepidel i jejich vlastnostech. A ty by **v kombinaci s jednotným technickým listem** mohly vést k **lepší orientaci** na trhu. Navržený technický list se snaží poukázat na prospěšnost, která by vznikla, kdyby byla normou stanovena jeho jednotná podoba pro všechny výrobce (např. jen v EU).

Rozdělení lepidel podle mechanických vlastností ve spojení s takto navrženým technickým listem zjevně plní základní požadavek uživatele, který se rozhoduje jaké lepidlo vybrat. Vlastnosti konkrétního lepidla se stanou transparentními, snadno porovnatelnými a snadno dostupnými.



Obr.3.2 Současní představitelé jednotlivých skupin zvoleného rozdělení

Navržené dělení podle mechanických vlastností lepidel potvrdilo obecný předpoklad, že nejlepší mechanické hodnoty má epoxidová pryskyřice. Epoxidový (popř. Epoxy-PUR) základ lepidla je zastoupen ve všech podskupinách strukturních lepidel (viz. Obr.2.7.1). Obecný předpoklad o nízkých mechanických vlastnostech kaučukových lepidel nepotvrdilo lepidlo Terostat 5196 na bázi reaktivního butylkaučuku, které má s 12 MPa smykové pevnosti vyšší mechanické hodnoty, než některá lepidla na bázi epoxy-PUR či epoxy-PVC. V kap.2.6 je uvedeno, že je to díky hustému zesíťování. Současně si toto lepidlo stále drží výborné těsnící a tlumící vlastnosti kaučukových tmelů.

Podle dostupných technických listů byla lepidla seřazena do skupin podle zvoleného rozdělení (viz. Obr. 3.2). Seřazení poskytnutých lepidel podle mechanických vlastností se nachází v Příloze 1. Nárazupevná lepidla mají v sortimentu společnosti Sika a Dow Automotive. Všechny společnosti zabývající se technologií lepení, by se měly na skupinu nárazupevných lepidel soustředit, protože tato lepidla mají velkou budoucnost, co se možností využití týče.

Rozdělení lepidel podle mechanických vlastností bylo navrženo pro třídění lepidel používaných převážně v automobilovém průmyslu. Tato lepidla jsou specifická svými vlastnostmi a podmínkami zpracování.

Při návrhu bylo vycházeno z dostupné literatury a poskytnutých technických listů.

4. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] The Adhesive Sourcebook 2008 [online]. [2008-8-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.henkelna.com> >
- [2] Průmyslová lepidla [online]. [2008-13-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.sika.cz> >
- [3] Materials Solutions [online]. [2008-10-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.automotive.dow.com> >
- [4] Joining technologies[online].[cit.2008-12-2]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com> >
- [5] SYMIETZ, D., LUTZ, A.: Strukturkleben im Fahrzeugbau. Dow Automotive. D-80992 München, (Germany), 2006. ISBN-10: 3-937889-43-4
- [6] ČADA, O., FALDÍK, L., KOLÍNSKÝ, A., aj.: Lepení plastických hmot a pryže. Vydal VÚGPT, 1964. [S.l. : s.n.]
- [7] KOVAČIČ, L.: Lepenie kovov a plastov. 1.vyd. Bratislava: Alfa, 1980.
- [8] MELEZÍNEK, O.: Lepení kovů ve strojírenství. 1.vyd. Praha: SNTL, 1961
- [9] PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. 1.vyd. Praha: SNTL, 1980
- [10] OSTEN, M.: Práce s lepidly a tmely. [S.l]: Grada Publishing, 1996. ISBN 80-7169-338-3
- [11] The influence of nanoadhesives...[online]. [cit.2008-8-3]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com> >
- [12] Dvousložkové lepení karoserií automobilů. *TM Svařování. Dělení. Spojování materiálu*, 2006, roč. 4, č. 5-6, str. 36.
- [13] SCHINDEL–BINELLI, E. H., GUTHERZ, W.: Konstruktiv kleben. Ein Lehrgang. Weinheim : VCH – Verlagsgeschaft mbH, 1988.
- [14] Lepení a utěšňování v autoprůmyslu(prezentace). [disk]. VW Bratislava, 4.2.2008. Henkel-Surface technologies
- [15] Liquid Adhesives [online]. [2008-4-5]. Dostupný z WWW: <<http://solutions.3m.com>>

5. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Hodnoty mechanických vlastností lepidel podle dostupných informací, v poskytnutých technických listech

Příloha 2 Technický list BETAMATE 1493 (Dow Automotive)

Příloha 3 Technický list SikaPower 490-7 (Sika)

Příloha 4 Technický list Teromix 6700 (Henkel)

Příloha 5 Technický list Scotch- Weld EC 2086 (3M)

Příloha 1

Hodnoty mechanických vlastností lepidel podle informací dostupných v technických listech (Vlastnosti potřebné pro navržené rozdělení lepidel).

1) Strukturní lepidla

a) Nárazupevná:

SikaPower 496/ 3

Chemický základ	Epoxy-PUR	
Modul pružnosti	-	
Mez pevnosti ve smyku	37	MPa
Tažnost	20	%
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	35	N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-	

Betamate 1620

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice	
Modul pružnosti	1500	MPa
Mez pevnosti ve smyku	29	MPa
Tažnost	10	%
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	40	N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-	

Betamate 1480

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice	
Modul pružnosti	1700	MPa
Mez pevnosti ve smyku	26	MPa
Tažnost	8	%
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	36	N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-	

b) Polonárazupevná:

Batamate 1496V

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice	
Modul pružnosti	1600	MPa
Mez pevnosti ve smyku	30	MPa
Tažnost	15	%
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	28	N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-	

Betamate 1493

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Modul pružnosti	1800 MPa
Mez pevnosti ve smyku	29 MPa
Tažnost	15 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	30 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

SikaPower- 490-7

Chemický základ	Epoxid-PUR
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	35 MPa
Tažnost	10 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	17 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Betamate 1025V

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Modul pružnosti	2200 MPa
Mez pevnosti ve smyku	24 MPa
Tažnost	5 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	19 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

SikaPower- 490B3

Chemický základ	Epoxid-PUR
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	23 MPa
Tažnost	17 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	22 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Betamate 1040

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Modul pružnosti	2900 MPa
Mez pevnosti ve smyku	22 MPa
Tažnost	6 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	20 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

c) Standardní:

Betamate XW 1044

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Modul pružnosti	2900 MPa
Mez pevnosti ve smyku	23 MPa
Tažnost	2,3 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	8 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Terokal-5078AA-25

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	>20 MPa
Tažnost	-
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

2) Jakostní:

a) Konstrukční:

Betamate 2096

Chemický základ	Komponent A epoxidová pryskyřice / Komponent B polyamin	
Modul pružnosti	1700	MPa
Mez pevnosti ve smyku	18	MPa
Tažnost	9	%
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	11	N/mm
Rázová pevnost v odlupu - 40 C	-	

SikaPower- 430

Chemický základ	Epoxid-PUR
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	15 MPa
Tažnost	80 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	20 N/mm
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Teromix-6700

Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	13 MPa
Tažnost	-
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Terostat-5196 VW-25

Chemický základ	Reaktivní butylkaučuk
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	>12 MPa
Tažnost	-
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

b) Výplňová:

Terostat- 8590

Chemický základ	PUR
Modul pružnosti	-
Pevnost ve smyku	2 MPa
Tažnost	400 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Terostat- 8960 HM

Chemický základ	PUR
Modul pružnosti	-
Pevnost ve smyku	1.5 MPa
Tažnost	250 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

SikaPower- 419E1

Chemický základ	Epoxid-PUR
Modul pružnosti	-
Pevnost ve smyku	1.5 MPa
Tažnost	150 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

SikaPower- 415P1

Chemický základ	Epoxid-PUR
Modul pružnosti	-
Mez pevnosti ve smyku	1.5 MPa
Tažnost	100 %
Rázová pevnost v odlupu při 23 C	-
Rázová pevnost v odlupu při - 40 C	-

Zde je patrné kolik technických údajů důležitých pro zvolené dělení v technických listech chybí. Nejvíce mechanických vlastností má uvedena firma Dow Automotive. Je to logické, protože rozdělení, takto podle mechanických vlastností, bylo částečně převzato právě z jejich firemní literatury. Ale přesto v jejich technickém listu jeden údaj chybí. A to rázová pevnost v odlupu při – 40 °C.